

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2012

Bc. Lenka STARÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ



**VYUŽITÍ UHLÍKOVÝCH VLÁKEN
V ODĚVNÍM PRŮMYSLU**

**APPLICATION OF CARBON FIBRES IN
CLOTHING INDUSTRY**

LIBEREC 2013

Bc. Lenka STARÁ

P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 10.1.2013

Podpis

ABSTRAKT

Záměrem této diplomové práce je příprava návrhu a technické dokumentace pro výrobu oděvního výrobku. Tento výrobek má být zhotoven z textilie obsahující vodivá vlákna. Jelikož se jedná o tričko, zvolenou textilií je zde zátažná jednolícni pletenina.

Tento výrobek má být primárně určen pro trh s reklamními a pracovními oděvy. V závislosti na výběr trhu je cílem navrhnout univerzální oděv. Jelikož se jedná o práci připravovanou pro firmu ADLER Czech, a.s., je nutné, aby výrobek splňoval podmínky zadání vývoje, které jsou dané na základě marketingového průzkumu trhu, konkurence a poptávky zákazníků.

Tento produkt má rozšířit portfolio firmy a zaměřit se na produkci oděvů, které v minulosti firma nenabízela, ani nevyráběla, a hledá tímto způsobem nové zákazníky.

Jelikož se jedná o výrobek pro speciální účely, je nutné podrobit materiály, které by mohly být použity pro jeho výrobu testování. V rámci této práce byla testována elektrická vodivost, potažmo elektrický odpor zátažných jednolícni pletenin obsahující různá vodivá vlákna či úpravy. Na konci práce je, k původnímu zadání navržený jednoho produktu, přidáno ještě několik návrhů oděvů, které by případně v budoucnu mohly rozšířit produktovou řadu firmy. Přínosem diplomové práce je praktické ověření elektrických vlastností textilií dodaných výrobcem z Číny.

Klíčová slova:

vodivá vlákna, povrchový odpor, objemový odpor, uhlík, antistatické oděvy

ABSTRACT

The main intention of this thesis is preparation of design and technical documentation for a production of a garment. This garment should be made of a fabric containing conductive fibers. Since it should be a T-shirt, the fabric that was selected for this garment, is a single jersey knit.

This product is primarily developed for advertising and work clothing market. According to the chosen markets, the main task is to design an universal garment. Because this thesis is based on the development task of the company ADLER Czech, a.s., it is necessary to fulfill the details of the task, which are given on the base of marketing market research, research of the competitors and demands from the customers.

This product should enlarge the range of products of the company and focus on production of garments that have never been produced or offered before by the company. This should be one of the ways to find new customers.

This product is made for special use, it is necessary to test the fabrics, which could be use for its production. The single jersey knits, with different types of conductive fibers or treatments, were tested for electrical conductivity and resistivity. At the end of this thesis there is a collection of few designs, which could enlarge the range of product in the future. The benefit of this work is the practical verification of the electrical properties of the fabrics supplies by the Chinese producer.

Key words:

conductive fibers, surface resistance, capacity resistance, carbon, antistatic clothes

Obsah:

| | |
|---|----|
| Úvod | 9 |
| 1. TEORETICKÁ ČÁST | 10 |
| 1.1. Elektrické vlastnosti textilních materiálů | 10 |
| 1.1.1. Elektrická vodivost | 10 |
| 1.1.2. Elektrický odpor - rezistance | 10 |
| 1.1.3. Měrný elektrický odpor – rezistivita..... | 11 |
| 1.1.4. Elektrické vlastnosti vláken | 12 |
| 1.1.5. Elektrostatický náboj | 12 |
| 1.1.6. Důsledky tvorby statické elektřiny | 14 |
| 1.2. Metody hodnocení elektrických vlastností textilních útvarů | 15 |
| 1.2.1. Normy: pro antistatické oděvy | 15 |
| 1.3. Textilní materiály..... | 16 |
| 1.3.1. Vodivá vlákna..... | 16 |
| 1.3.2. Možnosti výroby vodivých textilních materiálů | 17 |
| 1.3.3. Vodivá vlákna – uhlíková vlákna | 19 |
| 1.3.4. Vodivá vlákna – kovová vlákna | 19 |
| 1.3.5. Vodivá vlákna – pokovená vlákna | 20 |
| 1.3.6. Vodivá vlákna – bikomponentní vlákna | 20 |
| 1.3.7. Vodivá vlákna - vodivé polymery | 23 |
| 1.4. Příze | 25 |
| 1.5. Textilie | 26 |
| 1.5.1. Textilie s vodivými vlákny | 26 |
| 1.5.2. Galvanizace textilií | 28 |
| 1.6. Uplatnění vodivých vláken v textilním a oděvním průmyslu | 29 |
| 1.6.1. Ochranné oděvy..... | 29 |
| 1.6.2. Elektronika v oděvech | 31 |
| 1.6.3. Inteligentní oblečení | 33 |
| 2. REŠERŠNÍ ČÁST..... | 37 |
| 2.1. Uhlík | 37 |
| 2.2. Uhlíková vlákna | 38 |
| 2.2.1. Výroba uhlíkových vláken..... | 39 |
| 2.2.2. Postup výroby uhlíkových vláken | 41 |
| 2.2.3. Rozdělení uhlíkových vláken | 42 |
| 3. PRŮZKUM TRHU S ODĚVY OBSAHUJÍCÍ UHLÍKOVÁ VLÁKNA | 44 |
| 3.1. Antistatické oděvy | 44 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4. | EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST | 47 |
| 4.1. | Přehled vzorků..... | 47 |
| 4.1.1. | SINTEX – Resistat F9601 | 47 |
| 4.1.2. | ZENA HONGKONG Industrial Ltd. | 51 |
| 4.2. | Testování..... | 54 |
| 4.2.1. | Hodnocení elektrických vlastností plošných útvarů..... | 55 |
| 4.2.2. | Povrchový odpor plošných textilií R_s | 55 |
| 4.2.3. | Povrchová rezistivita plošných textilií ρ_s | 56 |
| 4.2.4. | Vnitřní odpor plošných textilií R_v | 57 |
| 4.2.5. | Objemová rezistivita plošných textilií ρ_v | 57 |
| 4.3. | Naměřená data | 59 |
| 4.4. | Vyhodnocení experimentu | 62 |
| 4.5. | Další vybrané vlastnosti z hlediska komfortu..... | 64 |
| 5. | NÁVRH KONKRÉTNÍHO VÝROBKU | 71 |
| 5.1. | Technická dokumentace | 71 |
| 5.1.1. | Tričko s krátkým rukávem | 72 |
| 5.1.2. | Technický popis | 73 |
| 5.1.3. | Velikostní tabulka | 75 |
| 5.2. | Finální produkt | 76 |
| 5.2.1. | Tričko s dlouhým rukávem | 76 |
| 5.3. | Kolekce..... | 77 |
| 5.3.1. | Dámské tričko | 79 |
| 5.3.2. | Dámská bunda..... | 81 |
| 5.3.3. | Dámské sportovní kalhoty | 82 |
| 5.3.4. | Dámské kalhoty..... | 82 |
| 5.3.5. | Dámské šaty | 83 |
| 5.3.6. | Dámské večerní šaty..... | 84 |
| 6. | ZÁVĚR | 85 |
| 7. | LITERATURA: | 86 |
| | Seznam tabulek: | 90 |
| | Seznam obrázků: | 91 |
| | Seznam grafů:..... | 93 |

Seznam použitých zkratek

| | | |
|------|---|---|
| ESD | - | electrostatic discharge – elektrostatický výboj |
| USD | - | americký dolar |
| PES | - | polyester |
| POP | - | polypropylen |
| PET | - | polyetylen |
| PPY | - | polypyrol |
| PAN | - | polyakrylonitril |
| ba | - | bavlna |
| tab. | - | tabulka |
| obr. | - | obrázek |

Úvod

Díky rozvoji civilizace rozvíjí se i průmysl. Rozvojem průmyslu se v posledních desítkách let neskutečně rychle mění technologie. To, co pro nás bylo v polovině 20. století nepředstavitelné je dnes už běžné, ať se jedná o elektroniku, dopravu, či jiná odvětví průmyslu.

Největší roli však dle mého názoru hraje právě elektronika. Je všude. Denně používáme počítače, mobilní telefony, a jiné přístroje. Elektrické součástky, které nalezneme v těchto přístrojích, se s každým rokem zmenšují a zlepšují. Jelikož se nejedná o levná zařízení, je nutné, při jejich výrobě, dbát na jistá opatření. U elektronických zařízení je to především zamezení vzniku elektrostatického náboje. Proto jsou tato zařízení většinou vyráběna v tzv. čistých prostorách a právě pro tyto prostory je nutné vyrobit speciální oděvy, takové, aby se z nich neuvolňovala vlákna, a aby na nich nevznikal elektrostatický náboj.

Tyto oděvy jsou také používány k prevenci vzniku ohně či výbuchu, v případě manipulace s hořlavinami. Jejich nošení je jedním ze způsobů jak propojit osobu se zemí a odvést tak vznikající náboj pryč. Tyto oděvy mohou obsahovat tzv. vodivá vlákna, či mohou být ošetřeny antistatickou úpravou. Mezi tato vlákna patří například vlákna: uhlíková, kovová či polymerní vlákna s povrchovou úpravou.

1. Teoretická část

1.1. Elektrické vlastnosti textilních materiálů

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost $G[S]$, též konduktance – reálná vodivost elektrického obvodu, je fyzikální veličina, která popisuje schopnost dobře vést elektrický proud. Elektrická vodivost udává velikost elektrického proudu procházejícího vodičem při jednotkovém napětí na jeho koncích.

Podle vodivosti dělíme materiály na vodiče a nevodiče neboli izolanty. Mezi nimi je skupina materiálů se zvláštními vlastnostmi, kterým říkáme polovodiče (např. selen, germanium, křemík apod.). Čím větší je vodivost, tím silnější elektrický proud prochází vodičem při stejném napětí. Dobrý vodič má vysokou hodnotu elektrické vodivosti, špatný vodič má nízkou hodnotu vodivosti. Elektrickou vodivost posuzujeme podle *měrného elektrického odporu* $\rho[\Omega.m]$ [17].

Elektrický odpor - rezistance

Elektrický odpor je fyzikální veličina charakterizující schopnost elektrických vodičů vést elektrický proud. Základní jednotkou elektrického odporu je **ohm** $[\Omega]$.

Hodnota elektrického odporu je dána materiálem, tvarem i teplotou vodiče. Velikost odporu závisí na délce vodiče (přímo úměrně), na obsahu průřezu vodiče (nepřímo úměrně), na materiálu vodiče (měrný elektrický odpor) a na teplotě (Tab. 3) [18].

Elektrický odpor $R [\Omega]$ lze určit z vlastností vodiče pomocí vztahu:

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad (57)$$

kde $\rho [\Omega.m]$ je měrný elektrický odpor (rezistivita) materiálu, $l [m]$ je délka vodiče a $S [m^2]$ obsah průřezu vodiče.

Nebo lze k výpočtu lze také použít Ohmova zákona:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (57)$$

kde $U [V]$ je napětí na koncích vodiče a $I [A]$ je proud procházející vodičem.

Měrný elektrický odpor – rezistivita

Rezistivita, též *měrný elektrický odpor* nebo také specifický elektrický odpor, je fyzikální veličina, vyjadřující elektrický odpor vodiče jednotkové délky (1m) a jednotkového obsahu průřezu (1mm^2) při teplotě 20°C [54]. Rezistivita je převrácená hodnota *konduktivity* (měrné vodivosti). Je to materiálová konstanta, která charakterizuje elektrickou vodivost látky. Čím větší je rezistivita, tím menší je vodivost dané látky.

Charakteristikou izolantů a polovodičů je, že elektrický odpor s teplotou klesá. U kovů však roste. V Tab. 1 jsou uvedeny hodnoty ρ [$\Omega\cdot\text{m}$] pro jednotlivé druhy materiálů [2].

| | ρ |
|-------------------|---|
| vodiče | $10^{-8} - 10^{-2} [\Omega\cdot\text{m}]$ |
| polovodiče | $10^{-2} - 10^0 [\Omega\cdot\text{m}]$ |
| nevodiče | $10^0 - 10^{16} [\Omega\cdot\text{m}]$ |

Tab. 1: Měrný elektrický odpor ρ [$\Omega\cdot\text{m}$] různých materiálů [2]

Měrný elektrický odpor se u různých typů textilních vláken liší (Tab. 2).

| | ρ |
|----------------------------|---|
| syntetická vlákna | $10^{12} - 10^{14} [\Omega\cdot\text{m}]$ |
| antistatická vlákna | $10^6 - 10^{10} [\Omega\cdot\text{m}]$ |
| vodivá vlákna | kolem $10^{-7} [\Omega\cdot\text{m}]$ |

Tab. 2: Měrný elektrický odpor ρ [$\Omega\cdot\text{m}$] textilních materiálů [2]

| vlákno | CO | WO | CV | SE | PA6 | PA6.6 | PAN | PES | PP |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|
| ln (ρ) | 5,6 | 7,3 | 5,8 | 8,7 | 13 | 11 | 14 | 17 | 12,5 |

Tab. 3: Měrný elektrický odpor ρ [$\Omega\cdot\text{m}$] textilních materiálů při 65 [%] relativní vlhkosti a $[20^\circ\text{C}]$ [2]

Elektrické vlastnosti vláken

Většina textilních vláken patří mezi *elektrické izolanty* - *nevodiče*. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou pevně vázané k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Elektrická vodivost však není úplně nulová a závisí na obsahu různých přísad, resp. obsahu vlhkosti. Bylo experimentálně ověřeno, že pro hydrofilní polymery postačuje 1% obsah vlhkosti, aby jejich vodivost vzrostla o 8–10 řádů [1].

K elektrické vodivosti může dojít při přechodu materiálu iontovým systémem, tedy v přítomnosti volných (pohyblivých) elektronů v krystalické struktuře, které jsou vlivem elektrického potenciálu schopny překonat určitou překážku. To závisí na obsazení hladin jednotlivých energetických pásů elektrony [3].

To, že většina textilních materiálů jsou izolanty, způsobuje to, že akumulují elektrostatický náboj, což způsobuje problémy jako náhodné výboje, ohně, hromadění prachu během zpracování a produkce. Jejich elektrické vlastnosti ovlivňují jak jejich zpracovatelnost, tak pozdější využití hotových textilií.

Elektrostatický náboj

Velikost elektrostatického náboje souvisí přímo s velikostí elektrického odporu vláken. Hodnota elektrického odporu je dána materiálem, tvarem i teplotou vodiče.

Nabíjení elektrostatickým nábojem vyžaduje jistý přesun náboje. Teoretická velikost elektrostatického náboje na textiliích je až $105[\mu\text{C}/\text{m}^2]$, ale jeho „vytékání“ do okolí tuto hodnotu snižuje na $30[\mu\text{C}/\text{m}^2]$. Tomu odpovídá elektrické pole o velikosti $3000[\text{kV}/\text{m}]$ [1].

Základní pojmy

ESD - elektrostatický výboj (Electrostatic Discharge); přenos náboje mezi tělesy a různých elektrostatických potenciálů, který byl vyvolán přímým kontaktem nebo indukován elektrostatickým polem

ESDS - součástka citlivá na elektrostatický výboj (Electrostatic Discharge Sensitive Device); diskrétní součástka, integrovaný obvod nebo sestava, která může být poškozena elektrickými poli nebo elektrostatickým výbojem, který se vyskytuje při běžné manipulaci, zkoušení a přenášení

EPA - vyhrazený prostor ESD (ESD Protected Area) prostor, ve kterém lze manipulovat se součástkami ESDS s přijatelným rizikem poškození

Statická elektřina je sama o sobě jedinci neškodná, ale pokud není kontrolována, elektrostatický výboj může způsobit poškození citlivých přístrojů a vést k prostoji ve výrobě, vrácení zboží (reklamacím) a nákladům na záruku, což každoročně vede až ke ztrátě 45 miliard USD celosvětově [55]. Je odhadováno, že 8 - 33% vyrobených produktů, je během výroby poškozeno právě statickou elektřinou **[Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.]**.

Pokud nejsou v provozu zavedeny antistatické oděvy, riziko výboje se extrémně zvyšuje. ESD oděvy se snaží chránit ESDS před škodlivým statickým nábojem, který vzniká právě nošením oděvů při práci, a to především oděvů z vlny, hedvábí a syntetických materiálů.

Velikost elektrického náboje se mění dokonce i v závislosti na faktorech, jako jsou výška postavy a velikost nohy. Vyšší postava a větší nohy vyžadují naakumulování většího náboje k vytvoření elektrického napětí. Materiály, ze kterých jsou naše oděvy a obuv vyrobeny mohou statickou elektřinu také ovlivnit. Stejně tak jako počasí. Pokud je nízká vlhkost vzduchu vytvoří se větší náboj [4].

Vznik náboje

1. V případě, že je vlákno ve styku s kovem, nemohou volné elektrony přecházet z kovu, ale z izolátoru (vlákna). To vede ke stavu, kdy se vlákna nabíjejí kladně.

2. Pokud jsou na povrchu vlákna skupiny kyselé, resp. zásadité, dochází při kontaktu s jinými polymery k jejich redistribuci podle Boltzmanova statistického principu.

Počet pohybujících se částic exponenciálně roste s růstem teploty. Při styku dvou polymerů se podle typu povrchových skupin nabíjí jeden kladně a druhý záporně. Podle velikosti těchto nábojů se konstruují triboelektrické řady.

3. Vlivem tření dochází ke vzniku teplotního gradientu a pohyblivý náboj (elektrony) přechází z teplejších míst na studenější. Tento mechanismus nevyžaduje dva různé materiály.

4. Pokud má jeden materiál na povrchu elektricky nabitou vrstvu, může při vzájemném kontaktu s jiným materiálem dojít k jejímu „stírání“ na původně nenabitý materiál.

5. U některých materiálů dochází ke generování náboje při mechanickém napětí (piezoelektrický jev). Většina orientovaných vláken má piezoelektrické projevy (např. vlna).

6. Většina vláken má také pyroelektrické vlastnosti, tj. náboj se generuje vlivem zvýšené teploty [1].

Proces tvorby statické elektřiny se dá rozdělit do tří fází:

a) při kontaktu dvou povrchů dochází k pohybu elektrického náboje tak, že se na jednom povrchu hromadí přebytek elektronů;

b) na kontaktním mezi-povrchu vzniká elektrická dvojvrstva, ale elektrostatická elektřina se neprojevuje, protože díky kontaktu obou povrchů se celý systém jeví elektricky neutrální;

c) při mechanickém oddělení povrchů dochází ke vzniku statické elektřiny a jejímu postupnému snižování vlivem neutralizace a disipace v závislosti na elektrickém měrném odporu materiálu [1].

Důsledky tvorby statické elektřiny

Na materiálech, kde se tvoří elektrický náboj, dochází k těmto jevům:

statická přitažlivost - důsledek je vzájemné lepení textilních vrstev, akumulace prachu na povrchu, špinění atd.

statická odpudivost - špatná adheze při nánosování, vrstvení a pojení více vrstev

statické vybíjení - elektrické šoky při vybíjení přes vodiče, tvorba jiskry způsobují hoření až explozi, poškození elektronických přístrojů, vznik elektronického šumu

fyziologické změny - růst krevního tlaku a pH krve, zvýšení únavy, snížení obsahu vápníku v moči [1]

1.2. Metody hodnocení elektrických vlastností textilních útvarů

Normy: pro antistatické oděvy

Norma **EN 1149** sestává z následujících částí s hlavním názvem „**Ochranné oděvy - Elektrostatické vlastnosti**“:

- Část 1: Zkušební metoda pro měření povrchového měrného odporu
- Část 2: Zkušební metoda pro měření vnitřního odporu
- Část 3: Metody zkoušení pro měření snížení náboje
- Část 4: Zkoušky oblečení (připravuje se)
- Část 5: Materiálové a konstrukční požadavky

ČSN EN 1149-1: Tato norma specifikuje zkušební metodu pro materiály určené k použití na výrobu elektrostatických (elektrostatický náboj rozptylujících) ochranných oděvů (nebo rukavic), které mají zabránit zápalným výbojům. Tato zkušební metoda není vhodná k použití pro materiály používané k výrobě ochranných oděvů nebo rukavic určených pro práce na sítích elektrického napětí. Touto metodou se stanoví odpor při malých vzdálenostech a nemusí být vhodná k vyhodnocení kompletního oděvu.

povrchový odpor = odpor v ohmech stanovený za použití elektrod umístěných na povrchu materiálu

měrný povrchový odpor = vypočítá se násobením naměřeného povrchového odporu příslušným součinitelem

ČSN EN 1149-2: Ochranné oděvy – elektrostatické vlastnosti

část 2.: Zkušební metoda pro měření vnitřního odporu

Tato evropská norma stanoví zkoušení metody pro měření vnitřního elektrického odporu materiálů ochranných oděvů.

ČSN EN 1149-5: Tato norma specifikuje materiálové a konstrukční požadavky pro ochranný oděv rozptylující elektrostatický náboj, používaný jako součást celkového uzemněného systému, aby nedocházelo k zápalným výbojům. Požadavky nemusí být

dostačující v hořlavém ovzduší obohaceném kyslíkem. Tato norma není vhodná pro ochranu proti elektrickému napětí v rozvodných sítích.

ČSN EN 61340-5-1

Norma ČSN EN 61340-5-1 udává, že pracovní oděv musí úplně pokrývat všechny spodní oděvy v oblasti paží a trupu. Je tedy důležité, aby rukávy chránící proti ESD překrývaly konce vnitřních rukávů oděvu, tj. pod zástěru a vestu je nutné si obléci odpovídající oděv, např. tílko nebo tričko bez rukávů.

Pokud jsou elektrostaticky citlivé součástky umístěny v malé výšce vzhledem k antistatickému oděvu, pak by se neměl běžný oděv (například spodní část kalhot, laboratorního pláště) dotýkat nebo přijít do těsné blízkosti těchto součástek.

Tato technická zpráva specifikuje všeobecné požadavky na ochranu součástek citlivých na elektrostatický výboj (ESDS) před elektrostatickými výboji a elektrostatickými poli. Zpráva se vztahuje pouze na výrobu a používání elektronických součástek.

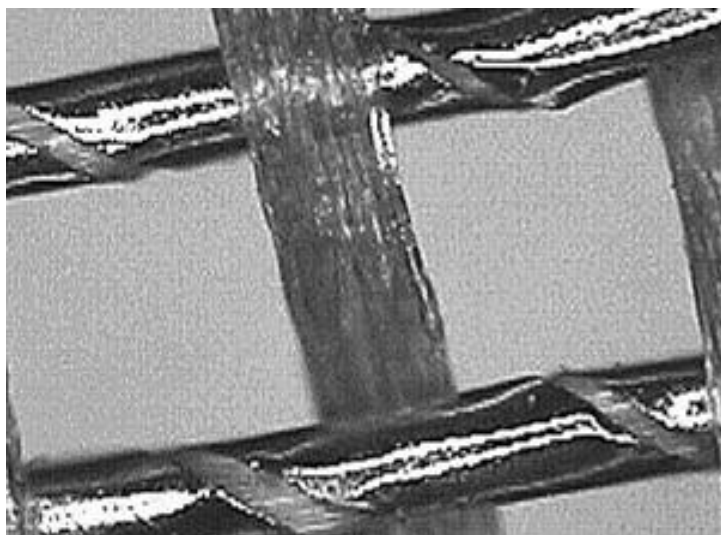
Tato technická zpráva specifikuje jak navrhovat, používat a kontrolovat vyhrazené prostory, aby se zajistilo minimální riziko poškození elektrostaticky citlivých součástek, které mají napěťový práh odolnosti 100 V (model lidského těla) nebo vyšší, tak aby byla možná manipulace s minimálním rizikem poškození, které souvisí s elektrostatickými jevy.

1.3. Textilní materiály

Vodivá vlákna

Vodivými vlákny nazýváme taková vlákna, která jsou schopná vést elektrický náboj.

K vytváření elektricky i tepelně vodivých výrobků se používají různé typy materiálů. Využívá se např. povrchové úpravy s tekutými barvivy (inkousty) s vysokým obsahem kovů (Obr. 1:).



Obr. 1: Příklady vodivých přízí

Vodivá vlákna mohou být uhlíková, kovová, pokovená, povrstvená či bikomponentní. U vláken pokovených, povrstvených mohou být základem nevodivé či málo vodivé materiály. Tento základ je poté potažený elektricky vodivými částicemi, a to nejčastěji uhlíkem, niklem, mědí, zlatem, stříbrem nebo titanem. Jako základ se používají typické materiály jako bavlna, polyester, nylon, či vysoce výkonná vlákna jako jsou aramidy či PBO.

Možnosti výroby vodivých textilních materiálů

Zvýšení elektrické vlastnosti textilních materiálů lze při výrobě zajistit několika způsoby. V následujících řádcích je uvedeno, jakým způsobem je zajištěna elektrická vodivost ve vláknech, přízích, textiliích.

vodivá vlákna

- a) přirozeně vodivá – uhlík, kov, vodivé polymery
- b) vlákna připravená za účelem zvýšení vodivosti – pokovení (Obr. 2, Obr. 3b), polymery s aditivy, atd., bikomponentní
– vlákna jako taková je možno použít pro přípravu netkaných textilií

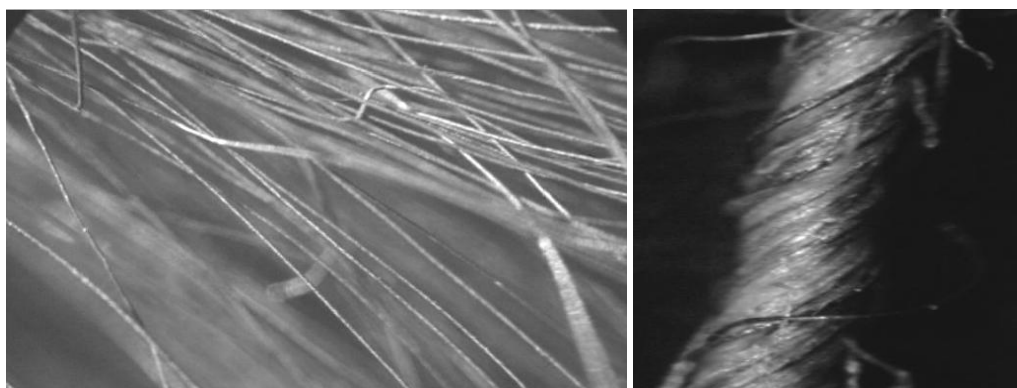
vodivé příze

- a) z 100% vodivých vláken
- b) vodivá vlákna ve směsi s vlákny klasickými – tím získám příze se zvýšenou vodivostí a pomocí nich mohu vytvořit textilní struktury (tkaniny, pleteniny)

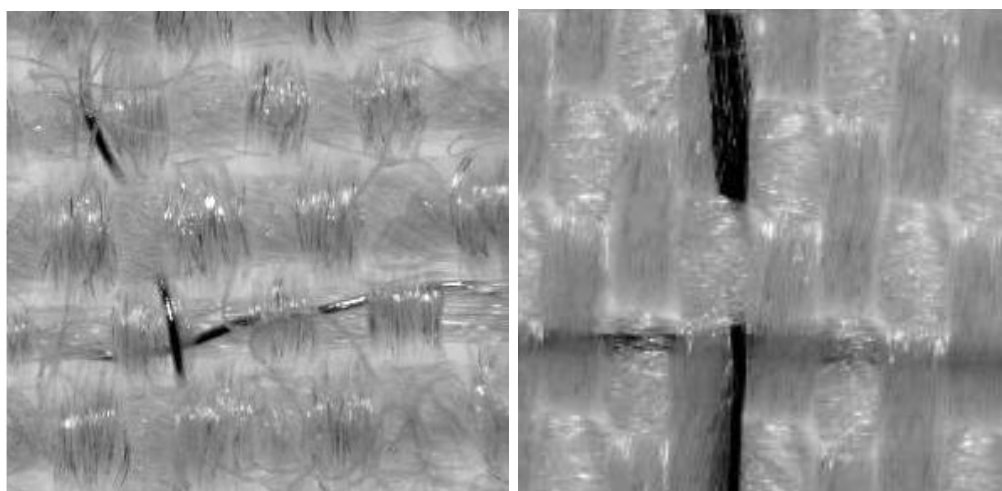
úprava textilního substrátu

Při aplikování vodivých vrstev na textilie, může být dosaženo nových a technicky zajímavých textilních materiálů. Textilie může být na závěr ošetřena finální úpravou např. pokovením, povrstvením vodivým polymerem, začleněním vodivých částic do struktury. Tkaniny, pleteniny či netkané textilie bývají často nánosovány, prošívány či potiskovány, pro získání odlišného vzhledu a vlastností povrchu.

Dále je možné použít uhlíková či kovová vlákna (Obr. 3a). Stejně tak je možné finální textilií ošetřit pomocí různých činidel. Příklady používaných činidel jsou např.: hydrokarbonová povrchová činidla nebo činidla obsahující fluor [19].



*Obr. 2: a) mikroskopický pohled na kovem povrstvená akrylová vlákna
b) mikroskopický pohled na přízi ze směsi pokoveného a syntetického vlákna*



*Obr. 3: a) kovové vlákno, b) PES multifil, s aditivem
(uhlíková čern) [5]*

Vodivá vlákna – uhlíková vlákna

Jako uhlíkové se označuje vlákno s vysokým obsahem uhlíku – kolem 98%. Vlákná uhlíková, mají nejvyšší využití v kompozitních materiálech, ale jejich využití je i v syntetických přízích, kde při spřádacím procesu odstraňují elektrostatický náboj a usnadňují bezdefektní vypředení. Množství těchto vláken je do 2%, takže na vlastnostech hotového výrobku se nijak neprojeví [8]. Další informace o výrobě a rozdělení uhlíkových vláken jsou uvedeny v kapitole 2.2..

Vodivá vlákna – kovová vlákna

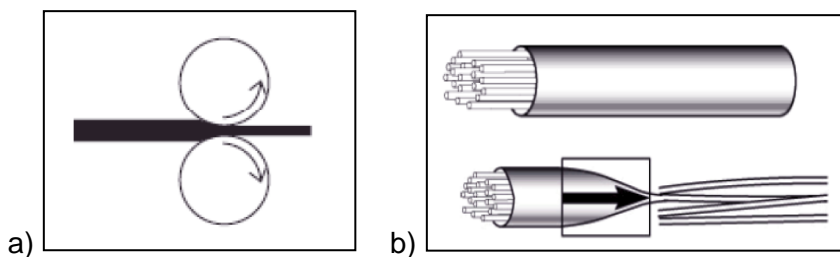
Kovová vlákna jsou výrobky získané zvlákňováním kovových materiálů (drátu, plechu, folie). Drát s omezenou délkou (cca do 100 mm), lze označit jako vlákna, záleží však na průměru – podmínkou je zpracovatelnost textilní technologií. Tato vlákna vynikají především elektrickou vodivostí, ohnivzdorností, odporem proti vlivu chemikálií a zvláštním leskem [57].

Kovová vlákna jsou širokou skupinou různých typů vodivých vláken, jejichž vodivost je založena na drátech z nerezové oceli, kovových slitinách, oxidech kovů a kovových solích. Vlákná nerezové oceli jsou celokovová a jsou vyrobená v délce staplových vláken [6].

Způsoby výroby

Běžná vlákna až do jemnosti cca 100 μm se dají vyrábět tažením přes konické otvory, a to za studena pro kujné kovy (ocel, měď, zlato, stříbro), nebo za tepla. Při tažení za tepla, vhodném pro křehké kovy (wolfram, molybden), se volí teplota nad teplotou krystalizace. Při tomto druhu tažení dochází také k deformačnímu zpevnění, jehož důsledek je zvýšení pevnosti a snížení kujnosti (Obr. 4a) [9].

K výrobě jemnějších vláken tenčí drátky až 10 μm se často používá tzv. Taylorův proces, tj. obalení drátku vhodným materiálem - sklem a protahování za teplot, kdy sklo změkne a kov uvnitř se roztaví nebo zůstává plastický (Obr. 4b) [4].



Obr. 4: a,b - způsoby výroby kovových vláken [9]

Mikrovlákna až do jemnosti 0,15 μm se dají vyrábět (dosud jen laboratorně) z elektrooceli následujícím postupem:

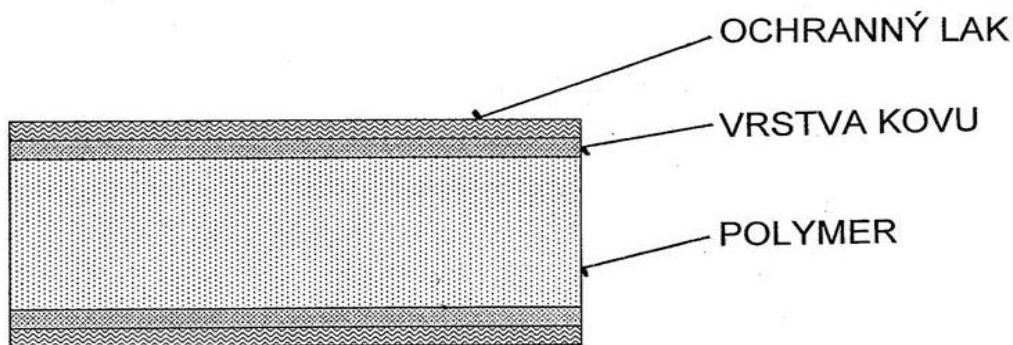
horké válcování - zbavení okují - dloužení za studena - mokré dloužení – žhavení – stáčení - odříznutí [57]

Dále jsou známa: např. elektrolytické, chemické a tavné zvlákňování. Vlákna se vyrábí s kruhovým nebo obdélníkovým průřezem. Pro běžné zpracování se dodávají vlákna s průřezem od 6,5 μm (což odpovídá u oceli 3,3 dtex) do 100 μm [57].

Vodivá vlákna – pokovená vlákna

Pokovení se dá provádět galvanicky nebo vtačováním (max. 1 %) kovu do jádra vlákna. Jako jádro se používá nejčastěji bavlna, viskóza a polyester [57].

Základem jejich výroby může být folie (zpravidla acetátová nebo polyesterová), která je vakuově pokovená z obou stran (požívá se většinou hliník), popř. kovová vrstva je překryta ochranným bezbarvým či barevným lakem (Obr. 5). Tloušťka těchto folií se pohybuje kolem 20 μm . Pokovená folie je následně rozřezána na šířky kolem 30 μm . Tato vlákna jsou pak jako stříž přidávána jako efekty do přízí pro efektní dámské ale i pánské šatovky [8].



Obr. 5: Pokovené vlákno [10]

Vodivá vlákna – bikomponentní vlákna

Vodivá vlákna obsahující kovy či karbon mohou být také konstruována jako tzv. bikomponentní vlákna. Bikomponentní vlákna mohou být povrchově či jádrově vodivá (Obr. 6).



Obr. 6: průřezy různých typů bikomponentních vodivých vláken [6]

Existují dva základní typy bikomponentních vláken:

A) dvouvrstvé struktury

B) vícevrstvé struktury

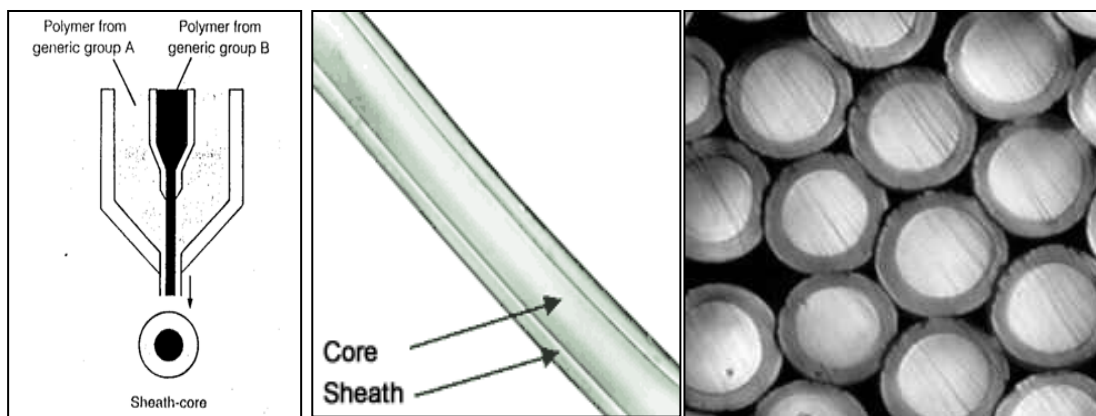
Nejčastěji se pro výrobu bikomponentních vláken používá uspořádání C „core – jádro“, S/C „sheath/core – jádro/obal“ nebo S „surface - povrch“ [6].

ad A. - **typ S/S (side by side):** vzniká spojením dvou proudů taveniny ve zvlákňovací trysce nebo těsně za ní (vzájemné lepení). Obloučkování se dosahuje různou sráživostí komponent.

typ C/S (core - sheath) [Obr. 7]: využívá speciální trysky, umožňující obklopení jednoho proudu taveniny (jádro) jiným proudem taveniny (plášť). Vzniká vhodná povrchová modifikace (antistatické vlákno, nehořlavé vlákno).

ad B. - **typ M/F (bikonstituentní vlákno):** se vyrábí z taveniny, která vznikla mechanickým mísením dvou tavenin nebo rozptýlením fibrilek jednoho polymeru v tavenině polymeru druhého. Bikonstituentní vlákna se často využívají pro tvorbu mikrovláken resp. dutých vláken.

typy MS/S (multiple side by side), MR (multiple radial), MC (multi core), atd. kde je vlákno tvořeno vrstvami jednoho polymeru oddělenými vrstvami polymeru jiného. Vrstvy mohou být uspořádány axiálně, radiálně nebo segmentově resp. mozaikově [11].



Obr. 7: Jedna z komponent (jádro-core) je zcela obklopena druhou komponentou (plášť-sheath) [10]

U bikomponentních vláken s obsahem kovu může být vodivým elementem stříbro, nikl, měď, hliník, kobalt či kovová slitina. Mezi produkty z těchto materiálů patří např.: X-Static, Electron či Texmet.

Stejně tak se pro jejich výrobu může použít oxidů kovu (cínu, zinku, hliníku, titanu), kdy částičky oxidu kovu jsou usazené přímo v materiálu vlákna. Mezi tyto produkty patří Belltron 632, Belltron 638 a Megana-E.

Vlákna obsahující vodivé kovové soli jsou vyráběny chemickým navázáním soli na povrchovou vrstvu vlákna. Kovové soli jsou nejčastěji CuS, CuI či NiS. Mezi nejznámější produkty patří R-Stat, Thunderon, Nitril-Static, Bemberg, Conflex C, Conflex V a T-25 [6].

Dále se pro výrobu bikomponentních vodivých vláken používá uhlík. Jedny z prvních výrobků byly vyrobeny nanesením pryskyřice obsahující vysoký podíl uhlíku na vlákno. Současné produkty jsou založeny převážně na začlenění uhlíku přímo do vlákenného materiálu. Celé vlákno by tak mělo být vyplněno karbonem, nebo by měl být začleněn přímo do jádra bikomponentního S/C vlákna. U některých vláken je uhlík součástí jedné komponenty S/S (side by side) nebo modifikovaného S/S bikomponentního vlákna. Stejně tak může být začleněn i do obalu S/C vlákna při zvláknování nebo přímo na fibrily M/F (matrix-fibril – matrice-vláknina) vláken. Mezi komerční produkty v této oblasti patří: Viscostat, Resistat, Antron II, Antron III, Nomex Delta A, Negastat, [6].

Vodivá vlákna - vodivé polymery

Běžné organické polymery, jako např. polystyren, polyetylen, atd., jsou ve své podstatě elektrické izolanty, je však známo více než 100 polymerů, s různým rozsahem elektrické vodivosti. Řada těchto polymerů se dá zvláknovat, což umožňuje jejich použití v textilních strukturách [0]. Vodivé polymery jsou tak vhodné pro nahrazení anorganických materiálů, jelikož vykazují mimořádné elektrické vlastnosti a nabízejí širokou škálu barev.

Pro řadu aplikací lze funkční vlastnosti polymerů rozšířit přípravou kompozitů, tj. polymerů obsahujících nejrozličnější plniva. U kompozitů obsahujících saze nebo práškový grafit se podařilo výrazně zvýšit elektrickou vodivost.

Konjugované polymery – Vedle vodivých kompozitů existují i konjugované polymery, které mohou vykazovat vlastní vysokou elektrickou vodivost. Ty jsou charakterizovány systémem konjugovaným dvojných vazeb, tzn. pravidelným střídáním jednoduchých a dvojných vazeb (konjugace) v molekulární struktuře. Kromě systému těchto vazeb je dalším nezbytným předpokladem přítomnost nositelů náboje, které zprostředkovávají jeho transport po konjugovaném řetězci. Jde o polymery obsahující aromatické řetězce, dvojně vazby, rezonanční struktury a iontové elektronové páry. Příkladem jsou polyacetylen, polyanilin.

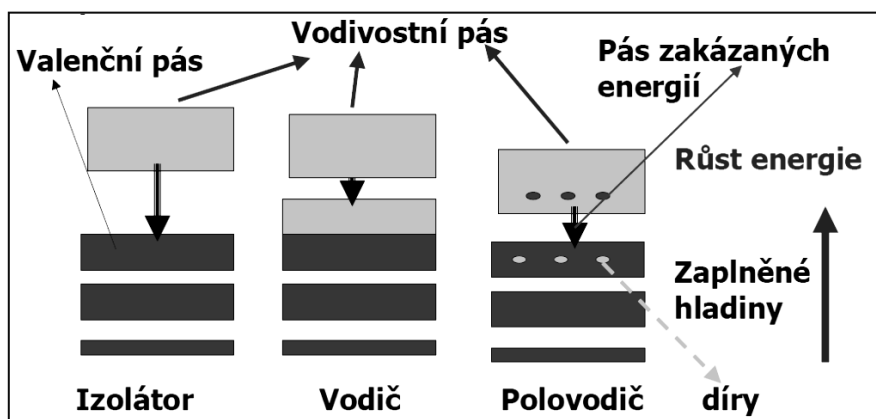
Elektrická vodivost může být zajištěna modifikací struktury polymerů, nebo adicí vodivých materiálů. Tyto modifikace se provádějí pomocí dopování oxidačních, resp. redukčních látek, aby došlo ke změně pásmové struktury a zvýšení vodivosti. Mechanismus působení dopantů je stejný jako u anorganických polovodičů. Výhodou polymerů je, že vodivost se dá výrazně měnit, protažením nebo přidáváním různých dopantů [2]. Účinkem dopování sloučeninami, které polymeru odebírají elektrony nebo je naopak do polymeru dodávají (např. alkalické kovy nebo halogeny), je to že se z nich stávají polovodiče a elektrické vodiče. Pohyblivost elektronů a/nebo dalších nosičů elektrického náboje po polymerním řetězci se tím výrazně zvýší. Elektrická vodivost může dopováním vzrůst o několik řádů a dosáhnout vodivosti mědi nebo stříbra.

Mezi vodivými polymery přitahují více pozornosti, díky ekonomickému aspektu, dobré environmentální stabilitě, termickým, chemickým vlastnostem a vodivosti (pokud jsou legované), polyanilin PANI a polypyrol PPY. Jejich elektrická vodivost se pohybuje mezi 10^{-5} S/cm a 10^2 S/cm pokud jsou legované, zatímco běžné izolátory vykazují vodivosti pod 10^{-12} S/cm [2].

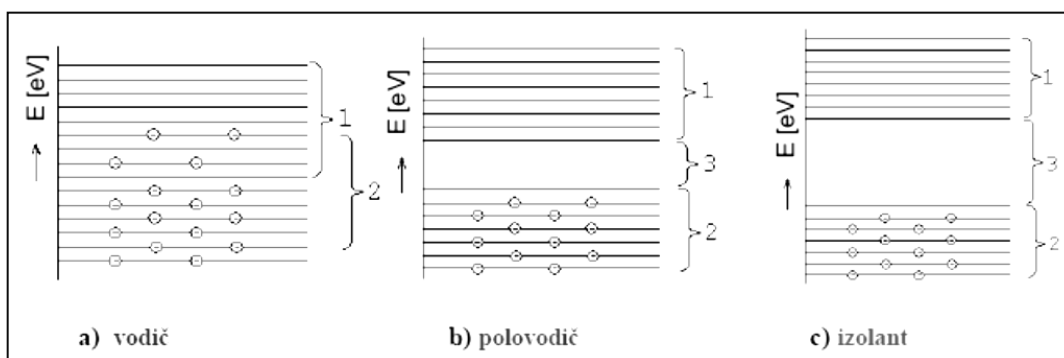
Dalšími příklady vodivých polymerů jsou polyacetylen, polypyrol, polythiofen, polyfenylen či poly(*p*-fenylenvinylem).

Vodivost polymerů

Z pásové teorie (Obr. 9) pevných látek víme, že se energetické spektrum elektronů skládá z řady pásů dovolených, oddělených zakázanými oblastmi. Vodivost polymerů souvisí s přeskoky elektronů z valenčního pásu, který je nejvyšším obsazeným, do nejbližšího prázdného, či neúplně obsazeného vodivostního pásu přes pás zakázaný (Obr. 8). Pro přeskoky je potřebná energie (např. tepelná). Tento přeskokový mechanismus se uplatňuje u polymerních polovodičů s konjugovanými dvojnými vazbami, protože konjugované úseky jsou přerušeny v místech lokálních poruch a na koncích řetězců. Liší se od vodivosti kovů, kde není zakázané pásmo, a volné elektrony se vyskytují ve vodivostním pásu při běžné teplotě [2].



Obr. 8: Děrová a elektronová vodivost [2]



Obr. 9: **Pásový energetický model:** porovnání různých látek z hlediska obsazení elektronů v jednotlivých hladinách z hlediska modelu pásů přípustných energií; na obrázku jsou zobrazeny jednotlivé pásy 1- pás vodivostní, 2- pás valenční, 3- pás zakázaný [28]

1.4. Příze

Antistatické příze a nitě jsou nedílnou součástí konfekčního zpracování antistatických oděvů. Tam, kde antistatická textilie nemá zajištěnou antistatickou vlastnost pomocí proužků, je nutné zajistit u správně fungujícího oděvu vodivé cesty i přes švy nebo napříč proužky.

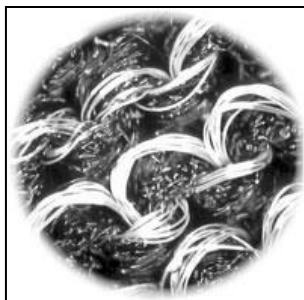
Vodivé příze jsou vytvořeny buď z 100% vodivých vláken, nebo ze směsi vodivých a klasických nevodivých vláken (ba, POP, PET, atd). Obsah vodivých vláken závisí na účelu použití. Dále je možno příze povrsťovat buď pokovováním (kovy), nebo aplikací vodivých polymerů na povrch vlákna (PPY, PANI, atd).

Použití vláken tohoto typu vede na znásobení rozličných vlastností textilií. Textilní charakter těchto přízí je dokonalý. Lze je dobře prát a žehlit, stejně jako jiné textilní příze. Je možné je použít na pletení a tkaní plošných textilií. Potíže ale mohou vznikat při barvení.

Jejich četná využití však opravňují jejich používání pro rozličné aplikace. Kovové směšové příze (Obr. 10, Obr. 11) (měď, stříbro, zlato) lze využít v mnoha textilních oborech, kromě ochrany proti elektrickému a magnetickému poli, tak i ke konstrukci inteligentních textilií, jako jsou e-textilie.



Obr. 10: směšová příze z galvanizované oceli a vlny [29]



Obr. 11: Pletenina obsahující přízi s vodivým vláknem X-static, které je vyrobeno z nerezové oceli [30]

1.5. Textilie

Vodivá textilie je materiál, který je schopen vést elektrický náboj. Taková textilie může být vyrobena z vodivých vláken vetkaných či vpletených do struktury textilie. Objevuje se také zájem o polovodivé textilie, které jsou vyrobené impregnací normálních textilií karbonovým nebo kovovým práškem [25].

Textilie s vodivými vlákny

Materiály použité na antistatické oděvy jsou na bázi standardních textilií, do kterých je vetkáno elektrostaticky vodivé vlákno. Vodivá vlákna vetkaná do materiálu vytvářejí Faradayovu klec, která brání šíření nebezpečných polí a poškozování citlivých produktů. Materiály pro antistatické oděvy se vyrábí ve velké škále.

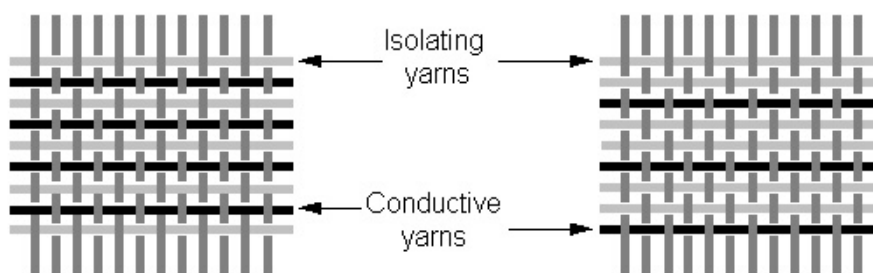
U tkanin (Obr. 13) je možné nalézt základní druhy jako kepr a plátno (Obr. 12), u pletenin jednolícní zátažnou (Obr. 14), interlokovou i žebrovou pleteninu. Textilie mohou být o různé plošné hmotnosti a různém materiálovém složení. Velikost mřížky, proužků - podíl antistatického vlákna, musí být však v textilií zastoupen tak, aby výsledná textilie splňovala požadavky příslušné normy.

Typy textilií

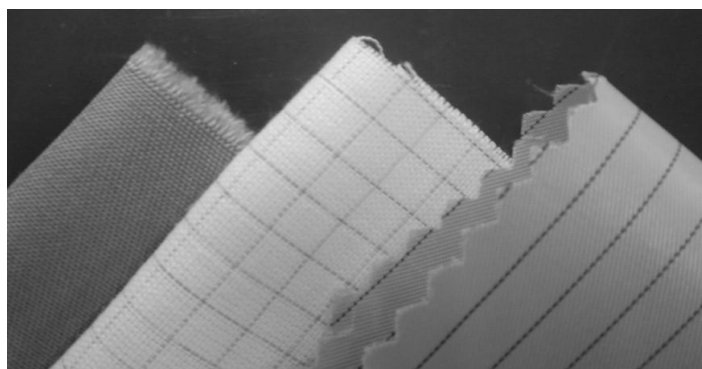
mřížka: tento vzor je aplikovaný na tkaninách (pláště, montérky). Vzhledem k tomu, že uhlíkové vlákno je černé, antistatická příze bude také vždy černá. Maximální velikost mřížky je daná normou. U tohoto vzoru antistatické textilie je zajištěn jak vertikální směr vodivosti, tak i horizontální směr.

melír: v této podobě naleznete také zejména tkaniny (pláště). Z úpletů jsou to ponožky. Při neobarvené látce vzniká tzv. šedý melír. Antistatický materiál (příze) je zde rozložen po celé ploše textilie, tzn., že vodivost je zajištěna ve vertikálním i horizontálním směru.

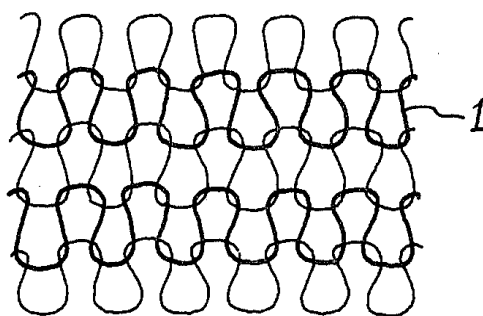
proužek: tato varianta se používá u antistatických úpletů (mikiny, trička, tílka). Bohužel je zde vodivost zajištěna pouze v jednom směru. Z tohoto důvodu je nutné aplikovat při konfekčním zpracování antistatické nitě ve švech napříč proužky, aby byla zajištěna vodivost i v druhém směru.



Obr. 12: tkanina v plátnové vazbě s útkovými přízemi z vodivých vláken v poměru 1:1 a 2:1

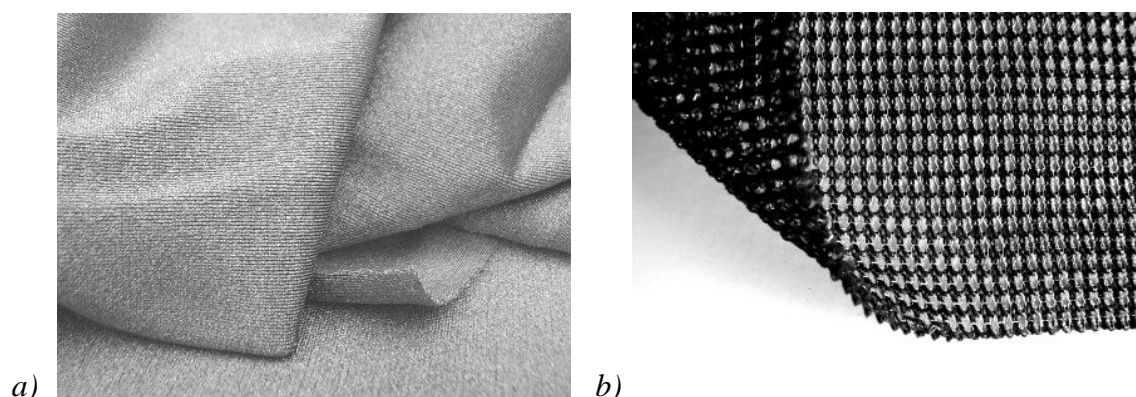


Obr. 13: tkaniny s vodivými vlákny v různých vazbách [31]

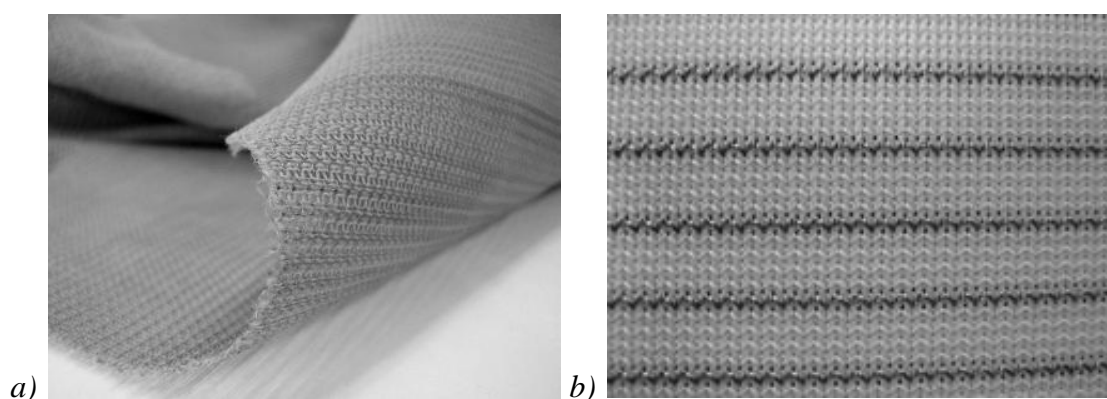


Obr. 14: zátažná jednolící pletenina s přízemi z vodivých vláken [12]

Na následujících obrázcích jsou vyobrazeny pleteniny s obsahem vodivých vláken (Obr. 15, Obr. 16).



Obr. 15: a) Pružná pletenina - 92% Nylon, 8% Dorlastan® s resistencí menší než 1 Ohm/m² v klidu, vodivost při napnutí roste; b) oboustranná vodivá textilie s nevodivým polyesterem na jedné straně a vodičovou nerezovou ocelí na druhé straně [31]



Obr. 16: a) Měkká vodivá pletenina zhotovená z polyesteru a drátku (80 mikronů) z nerezové oceli [38]; b) pletenina obsahující vodivou přízi Heatcoat [34]

Galvanizace textilií

Textilie se pro svou tvárnost, deformovatelnost, případně elasticitu nedají nahradit jinými materiály. Pokovované příze a výrobky z nich jsou proto zajímavá alternativa k dosud používaným kovovým nitím, protože u nich textilní vlastnosti základního materiálu zůstávají zachovány.

Protože textilní materiály nejsou vodivé, musí se nejdříve nanést elektricky vodivá vrstva. K tomu, aby nanášená vrstva k materiálu dobře přilnula, používá se

některá z běžných technik úpravy povrchu (např. chemické povrstvování, leptání, plasmová předúprava aj.).

Poté následuje nanášení kovu. Přes elektrolyt se vede elektrický proud, textilní materiál působí jako katoda a jako anody se mohou použít anody právě nanášeného kovu nebo tvarově stabilní titanové anody. Podle požadované tloušťky kovové vrstvy se volí hustota¹ elektrického proudu a doba působení.

Galvanizace se dá provádět jak na plošných textiliích, tak i na přízích. Jako základní materiál se převážně uplatňuje polyamid a polyester. Technologie se však dá přizpůsobit i na jiné polymery. Nejčastěji se nanáší stříbro a měď. S pomocí galvanizace se mohou tvořit kovové vrstvy o tloušťce několika málo mikrometrů. Oproti kovovým drátům a stužkám se mohou galvanicky pokovované nitě až o 7% roztahovat, aniž by se znatelně snížila jejich vodivost.

Textilie s menší vodivostí jsou vhodné pro zaclonění a antistatické účely. Vyšší vodivost nachází použití jak v textilním oboru, tak i v elektronice, elektrotechnice a mikrosystémové technice [57].

1.6. Uplatnění vodivých vláken v textilním a oděvním průmyslu

Ochranné oděvy

V současné době se uhlíková vlákna v oděvech objevují převážně na oděvech ochranných. Takovéto oděvy se používají hlavně do speciálních čistých provozů, kde musí splňovat přísná kritéria. Mezi taková kritéria patří: filtrační schopnosti, přenos výparů, výměna plynů, minimální úlet částic a v neposlední řadě trvalé antistatické vlastnosti.

To, že většina textilních materiálů jsou izolanty, způsobuje to, že akumulují elektrostatický náboj, což způsobuje problémy jako náhodné výboje, ohně, hromadění prachu během zpracování a produkce. Jejich elektrické vlastnosti ovlivňují jak jejich zpracovatelnost, tak pozdější využití hotových textilií.

Antistatické oděvy jsou proto nedílnou součástí prevence proti vzniku elektrostatického výboje. Jsou používány v mnoha odvětvích průmyslu, jako jsou: elektronika, sdělovací technika, telekomunikace a obranné aplikace. Tyto oděvy jsou také používány k prevenci vzniku ohně či výbuchu, nebo při manipulaci s hořlavinami.

¹ proudová hustota, je vektorová fyzikální veličina popisující lokálního rozložení elektrického proudu, jejíž směr je stejný jako směr pohybu kladného náboje

Na oděvy, které jsou určeny přímo do čistých provozů, nelze použít k zajištění antistatických vlastností chemických úprav textilií. Film, který je většinou nanesen jako finální úprava na vlákno, se během používání oděvu může uvolňovat, a dochází tak k znehodnocení antistatické úpravy a i k znečišťování prostředí uvolněnými částicemi.

Stejně tak musí být u používaných oděvů zvolen vhodný textilní materiál, tak aby nedocházelo k ulamování, třepení a odpadávání do výrobního prostředí, což může způsobit přemostění a zkrat citlivých obvodů. Proto se pro zajištění antistatických vlastností textilií používá převážně kovových a uhlíkových vláken, které se vyznačují dobrou elektrickou vodivostí.

Nošení ochranných oděvů je pak jedním ze způsobů, jak propojit osobu se zemí. Tyto oděvy obsahují vodivá vlákna (příze), která jsou vetkána, nebo vpletená do textile ve formě mřížky o různých parametrech, a vytvářejí jakousi nositelnou verzi "Faradayovi klece". Většina ESD oděvů však není vodivá natolik, aby zajistila vlastní uzemnění. Aby tyto oděvy fungovaly správně, musí být spojeny se zemí, a proto se ještě k nim často používají antistatické pásky na nohy a na zápěstí (spojky)(Obr. 17).

Všechny antistatické pracovní pomůcky a ochranné oděvy ESD musí splňovat přísné požadavky certifikace dle příslušných norem.



Obr. 17: Zemnicí kablík a Antistatický náramek [35]

Další oblasti použití textilií s antistatickými vlastnostmi jsou: [25]

- pytlové filtry pro filtraci vzduchu v cementárnách, tepelných elektrárnách či továrnách na výrobu hnojiv
- koberce a dopravníkové pásy
- stínění proti radiovým a elektro-magnetickým vlnám
- chytré textilie a oděvy

Elektrické vodivé materiály jsou také tepelně vodivé a využívají více kovů před polymery. Jsou užívány na sportovní obleky s přístrojovou technikou a vyžadují minimum tepelné izolace.

Elektronika v oděvech

Elektronika v oděvech spadá do kategorie inteligentních textilií. Jde o novou generaci produktů. Lze je definovat jako textilie, které jsou schopné reagovat na vnější podmínky, tím, že jsou např. do nich vloženy elektronická zařízení nebo inteligentní materiály. Tyto textilie se využívají hlavně v oděvech užívaných pro ochranu a bezpečnost. Nová vlákna, textilní materiály a součástky miniaturizované elektroniky umožňují vytvářet takové inteligentní textilie k výrobě oděvů, jako jsou oděvy kosmonautů, pilotů, chemiků a dalších.

Dnes se materiály pomalu obrací na mladou generaci, aktivní sportovce nebo lidi, kteří chtějí ve volném čase využívat nové funkce. Zatímco tělo se věnuje jiným aktivitám, oni mohou prostřednictvím oděvu ovládat celý svět. Složitější technologie mohou využívat záchranáři, hasiči nebo příslušníci bezpečnostních složek.

K výrobě těchto inteligentních textilií se využívá právě vodivých vláken, jako jsou ta na bázi vodivých polymerů, uhlíku či kovů. Přídavek niklu, mědi, stříbra a uhlíku různých tloušťek do povrchových vrstev textilií zajišťuje textilií jejich vhodné fyzikální a elektrické vlastnosti, jaké je třeba pro žádané aplikace.

Integrace elektronických součástí jako jsou čidla, mikročipy k zjišťování vnějšího působení a vyvolání patřičné odezvy, tento způsob rozvoje dostal své jméno jako *elektronické textilie* (e-textilie) nebo *textronika* atd.. Zavedením elektroniky do oděvů lze zaznamenávat např. činnost srdce, tep, a tlak nositele, EKG, dech, teplotu a další činnosti oznamující nositelům obleků a lékařům případné poruchy organismu.

Jako nejlepší spojovací technologie mezi textilním substrátem a elektronickými součástkami se jeví vetkání vodičů a sběrnicových systémů přímo do textilií. Velmi dobře se k tomu také hodí např. různé ozdobné lemovky a prošité prýmký, nebo pružné vodivé textilie zhotovené např. ze stříbrem pokovených polyamidových vláken. Do takto vytvořené sítě se dají začlenit senzory, centrální datová paměť, solární články apod. Na jednotlivé vodivé dráhy se potom připojí mikroelektronické moduly, které musí být samozřejmě lehké, omyvatelné a podobně pružné, ohebné, trvanlivé, a dá se s nimi bez potíží zacházet jako s textiliemi.

Prvními pokusy bylo vytvoření jednovrstvé klávesnice s kapacitními čidly (Obr. 18). V ní tvoří kontakty izolované body vyšité hedvábím za využití vyšívací technologie a vodivých nití. Výsledkem je klávesnice, která je ohebná, trvanlivá s reakcí na pouhý dotek [36].



Obr. 18: Ukázka několika typů kapacitních a ohebných textilních klávesnic [36]

Intelligentní textilie, jsou textilie umožňující monitorování funkcí organismu, varování před alergenem, dokonce chlazení nositele, pokud se zvýší jeho teplota. Problém je v tom, že používané senzory jsou příliš objemné. Mnoho elektronických textilií obsahuje kovová vlákna, která jsou těžká, a náchylná je koroze.

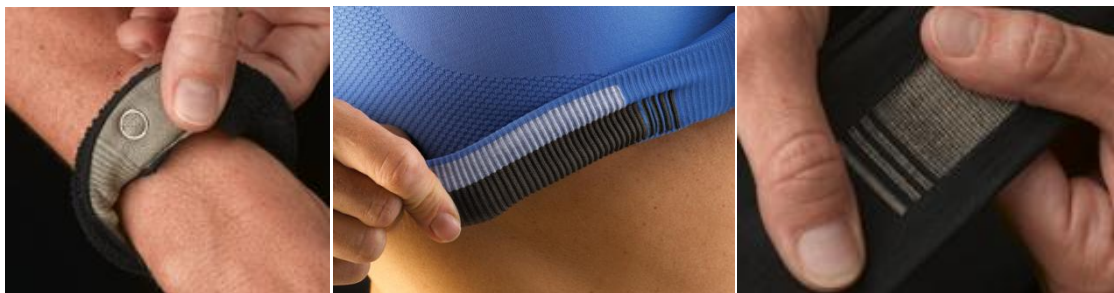
Z těchto důvodů byla vyvinuta metoda povrstvení konvenčního bavlněného vlákna pomocí vysoce vodivých uhlíkových nanotub. Tyto textilie, vyvinuté profesorem Nicholasem Kotovem z Michiganské univerzity, jsou vyrobeny ponořením bavlny do směsi uhlíkových nanotub a vodivého polymeru, a vedou mnohem více proudu než předchozí textilie s nanotubami.

Dále skupina kolem Kotova vyvíjí oděvy pro vojáky, které reagují na protein albumin, který je obsažen v krvi. Změna proudu indikuje přítomnost krvácení a může být pomocí nositelného počítače vyslána jako zpráva. Stejně tak mohou být textilie obsahující nanotuby ošetřeny tak, že reagují na přítomnost alergenu rozsvícením LED diody nebo zasláním SMS na mobilní telefon.

Výhoda začlenění uhlíkových nanotub do textilií, je to že mohou vykonávat spousty funkcí, aniž by bylo třeba přidávat objemná zařízení. Například, v oděvech, které se přizpůsobují počasí, mohou nanotuby reagovat na změnu teploty, a pomocí signálu vyslaného do „nositelného“ počítače, přenést informaci na vlákna, která se tím přizpůsobí aktuálnímu stavu například, zvětšením či zmenšením porozity textilie [37].

Textronics - firma Textronics se zabývá výrobou alternativních produktů (Obr. 19) k adhezivním elektrodám a kovovým náramkům pro monitorování srdečního rytmu. Tyto textilní elektrody jsou součástí bezešvých oděvů, hrudních pásků či pružných textilních náramků, které doléhají přímo na tělo a jsou mnohem příjemnější na nošení, nežli dříve používané nástroje ve zdravotnictví a sportu. Tyto produkty využívají patentované technologie zaplétání vodivých vláken přímo do pružných textilií. Pružné textilie zajišťují nepřetržitý kontakt senzoru s tělem. Drobný vysílač je umístěn

v malé kapsičce na oděvu, kde dochází k okamžitému vysílání srdečního rytmu do přijímače [38].



Obr. 19: Výrobky firmy Textronics [38]

Inteligentní oblečení

Vývoj nositelné elektroniky je teprve na začátku. Současný trh nám nabízí pouze několik málo výrobků spadajících do kategorie inteligentních oblečení.

Elektronické podprsenky (Obr. 20) - elektronické zařízení, vyvinuté profesorem Malcolmem McCormickem z De Monfordské univerzity, je založené na rozdílu elektrického odporu mezi zdravou a nádorovou tkání při průchodu elektrického proudu poprsím. Podle výzkumu má hustší nádorová tkáň vyšší odpor. Měřením poprsí pod různými úhly je možné pomocí počítače vytvořit tomogram nádoru. Tato technologie by mohla být dostupná během několika let a mohla by sloužit k rychlé vlastní diagnostice nádorových onemocnění prsů [39].



Obr. 20: Elektronická podprsenka [39]

Jedním z příkladů zvýšení komfortu díky e-textiliím je inteligentní podprsenka, vyvinutá na univerzitě ve Wollongongu, která mění vlastnosti v závislosti na pohybu poprsí. Tato podprsenka uvolňuje a přitahuje pásky podprsenky, vyztužuje či změkčuje

košíčky podprsenky k omezení pohybu poprsí a zabraňuje bolesti či poklesu poprsí, když dojde k nadměrnému pohybu. Při výrobě inteligentních podprsenek se využívá vodivých polymerů [40].

Dalším z výrobků zastupující skupinu inteligentního oblečení je například lyžařské oblečení ze série H3 a H4 od firmy O'Neill. Jedná se např. o bundu Comm.Ent Jacket (Obr. 21), ve které je zabudovaný bluetooth modul, který umožňuje handsfree telefonování díky integrovanému mikrofonu v límci a konektoru na sluchátka umístěném v kapse na zápěstí. Bunda rovněž obsahuje systém pro přehrávání hudby kompatibilní s přehrávači iPod. Přehrávač lze připojit a schovat do kapsy, protože na levém rukávu bundy je integrované bezdrátové ovládání [41].



Obr. 21: Bunda O'Neill Comm.Ent Jacket [41]

Podobným produktem je bunda Multi-Media Lifestyle Jacket od německé firmy Rosner, či bunda KENPO, nebo dražší varianta od firmy Burton (Obr. 22).



Obr. 22: Bunda KENPO a BURTON

Nositelnou elektronikou (Obr. 23) se v ČR zabývá firma Applycon, která spolupracuje s firmou Interactive Wear z Mnichova.

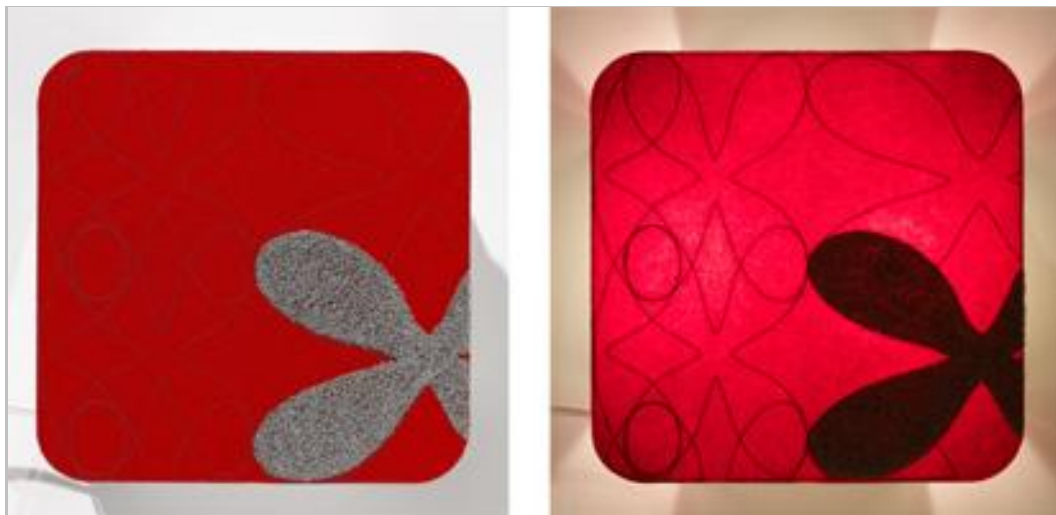


Obr. 23: Nositelná elektronika firmy Applycon [42]

Součástí oděvu je velmi lehká centrální elektronická jednotka a systém propojovacích kabelů, například nylonová nebo uhlíková vlákna zakončená speciálními konektory. Zajímavým ovládacím prvkem je textilní klávesnice k ovládání veškerých funkcí [42].

Petal Pusher (Obr. 24) je interaktivní textilní a světelná instalace, které využívá skrytých elektrických a vodivých vlastností textilií. Každý ze vzorů je vyší na vlněnou plst' DesignTex a ručně ozdoben střípky z vodivých vláken. Když se uživatel dotkne této střípaté, vodivé oblasti se senzory, dojde k osvětlení ze zadu vzoru.

Každý z těchto elektronických textilních senzorů je vyroben z přízí s přídavkem jemných kovových vláken, která jsou lehce nabita. Jelikož je naše tělo velkým zdrojem vodivé slané vody, dochází během dotyku vodivých částí k toku elektrického náboje z vláken skrze tělo, do země. Systém obvodů zaznamenává změny napětí a vysílá signály k rozsvěcování a tlumení světel [53].



Obr. 24: Petal pusher [53]

S rozšířením dotykových telefonů v současné době, vyvstal v zimních obdobích problém s tím, že telefony mající tzv. kapacitní display, a jsou založeny na změně napětí, jsou s navlečenými rukavicemi nepoužitelné. Textilní vrstva vytváří mezi prstem a displejem telefonu izolaci. Z toho důvodu se na trhu objevily rukavice (Obr. 25), které mají na palci a ukazováčku plošky obsahující vodivá vlákna a zajišťují tak správnou funkčnost telefonu [52].



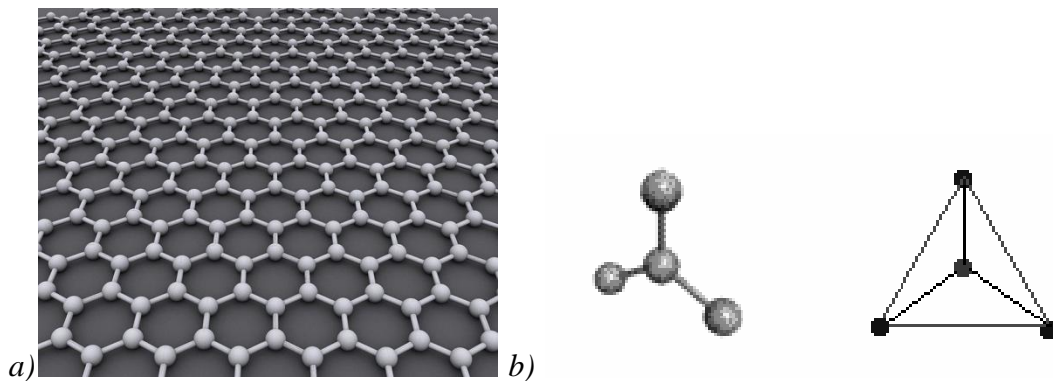
Obr. 25: Rukavice s obsahem vodivých vláken [52]

2. Rešeršní část

2.1. Uhlík

Uhlík (chemická značka C, latinsky Carboneum) byl znám jako látka již v pravěku (dřevěné uhlí, saze), ale jako prvek je znám až od druhé poloviny osmnáctého století. Tento chemický prvek tvoří základní stavební kámen všech organických sloučenin, ale je i součástí spousty anorganických. Je to typický nekovový prvek, který se v elementárním stavu, jako minerál, vyskytuje v přírodě ve dvou základních alotropních² modifikacích – grafit a diamant – a to ve velmi malém množství. V přírodě se pak uhlík vyskytuje v naprosté většině ve formě sloučenin, ať už v karbonátových homínách, ve vzduchu jako oxid uhličitý nebo součást ropy, uhlí a zemního plynu [16].

Grafit má strukturu, která je tvořena z nad sebou navzájem posunutých bazálních rovin – vrstev, kde jsou uhlíkové atomy uspořádány do šestiúhelníků (grafenu)(Obr. 26a). Na každý uhlík jsou kovalentně vázány další tři uhlíky (hybridizace sp^2 (Obr. 26b)). Tvoří se zde, nad a pod bazálními rovinami, rozsáhlý systém delokalizovaných elektronů (π -systém), které se v tomto prostoru mohou pohybovat a způsobují tak elektrickou vodivost grafitu.



Obr. 26: a) Grafenová mřížka ve tvaru plástve tvořená atomy uhlíku [4]; b) Hybridizace sp^2 - vazebný úhel je 120° [57]

² **Alotropie** je schopnost chemického prvku vyskytovat se v několika různých strukturních formách, které mají výrazně odlišné fyzikální vlastnosti. Příkladem alotropního prvku je uhlík, vyskytující se ve formě grafitu, diamantu, grafenu a fullerenu, která neexistuje ve formě kosočtverečných nebo jednoklonných krystalů [57].

Krystal grafitu je vysoce anizotropní³. Jednotlivé roviny jsou mezi sebou drženy pomocí slabých van der Waalsových sil, zatímco v rovinách bazálních vrstev, tzv. aromatických rovinách, jsou atomy vázány velmi pevnými kovalentními vazbami. Rozdíl mezi vazebními silami v rovinách a mezi rovinami způsobuje štěpnost krystalů grafitu a anizotropii jeho mechanických a elektrických vlastností.

Vysoké pevnosti a tuhosti aromatických rovin je využito u uhlíkových vláken, ve kterých jsou bazální roviny orientovány převážně rovnoběžně s podélnou osou vlákna. Na rozdíl od krystalu grafitu nejsou aromatické roviny ve vláknech pravidelně uspořádány, tak jak by odpovídalo hexagonální mřížce, ale jsou vedle sebe umístěny nahodile, v tzv. turbostratickém uspořádání. Vzdálenost mezi aromatickými rovinami je potom mírně větší, než je tomu u mřížky grafitu [14].

Elektrická vodivost grafitu ve směru grafitických rovin je stejného řádu jako u železa, pohyb volných elektronů je zde totiž ještě snadnější, než u kovů, je jich ovšem méně, takže je grafit řazen mezi polokovy. Kolmo na grafitické roviny lze grafit považovat za izolátor [16].

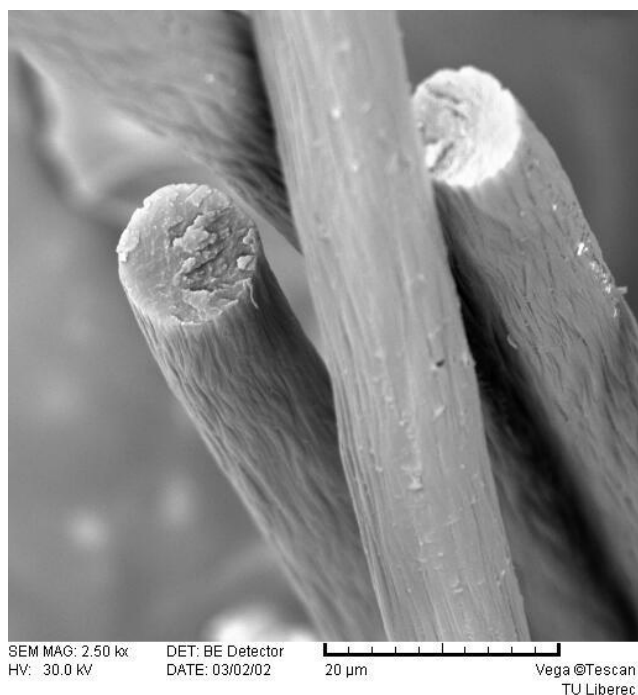
2.2. Uhlíková vlákna

Uhlíkové vlákno (z angl. carbon fibre)(Obr. 27) je název pro vlákno obsahující uhlík v různých modifikacích. Atomy uhlíku jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly, které jsou více méně orientovány paralelně k dlouhé ose vlákna. Krystalové uspořádání způsobuje, že vlákno je na svou tloušťku velmi pevné.

Zatímco člověk se snaží o zhotovení uhlíkových vláken zhruba 120 let, příroda je uměla vytvořit již v dávných geologických časech. Mineralogové zjistili v některých ložiskách grafitu výskyt vláknitých a tubulárních krystalitů. Růst těchto vláknitých agregátů s vysokým obsahem uhlíku je předpokládán při postmagmatických procesech pyrolýzou metanu [13].

Uhlíková vlákna mají nejširší spektrum mechanických vlastností při poměrně malé hustotě ($1,8 - 2 \text{ g/cm}^3$)[14], a proto si našla široké uplatnění jako složka kompozitních materiálů, jako jsou vyztužené polymery či kovy. Tato vlákna poskytují těmto kompozitům lepší vlastnosti, jako např. větší pevnost či vyšší elektrickou a tepelnou vodivost. Polymerní kompozity jsou používány na výrobu částí automobilů, letadel, elektromagnetického stínění.

³ **Anizotropie** je vlastnost, kterou se označuje závislost určité veličiny na volbě směru [57].



Obr. 27: mikroskopický pohled na uhlíkové vlákno [20]

Uhlíková vlákna nemohou být vyráběna stejným způsobem jako vlákna kovová, skelná, křemenná nebo vlákna polymerů, vzhledem k tomu, že uhlík netaje, není tažný a je dokonce odolný vůči rozpouštědlům. Proto se uhlíková vlákna vyrábí řízenou pyrolýzou organických prekurzorů, které mají formu vláken nebo přímo textilií či plstí. Další možností výroby uhlíkových vláken je katalytický rozklad plyných uhlovodíků [16].

Výroba uhlíkových vláken

Způsob výroby uhlíkových vláken se liší v závislosti na použitém prekurzoru. V praxi se lze tedy setkat s rozdílnými výrobními postupy u vláken na bázi PAN, smoly a mezofáze, celulózy a vláken charakteru whiskerů, připravovaných katalytickým rozkladem plyných uhlovodíků. Teoreticky je možné vyrábět uhlíková vlákna i z dalších prekurzorů, ty však většinou nejsou z ekonomického hlediska konkurenceschopné [23].

Oficiálně je za otce uhlíkových vláken považován Edison, který použil bambusovou dřevinu ke zhotovení prvního uhlíkového (karbonizovaného) vlákna do žárovky v roce 1879.

První vědecké zprávy zahrnující vláknité formy uhlíku se objevují v roce 1890. O půl roku později byla vypěstována vlákna rozkladem metanu, propanu a etylenu při 1200°C na křemenných podložkách [21]. Krátce poté byla získána zkroucená vlákna délek v jednotkách milimetrů na vyzdívce vysokých pecí pro výrobu železa. Současně probíhaly pokusy o pyrolýzu viskózních vláken. Průmyslově byla první uhlíková vlákna z viskózy (rayon) vyrobena v roce 1957 [15].

Jako první zavedla kontinuální vlákna na trh Firma Union Carbide Corporation, pod označením Thornel 25, které bylo vyrobeno právě z viskózy. Dnes se výroba z viskózy téměř nepoužívá, jelikož při přeměně za vysokých teplot dochází k velkým ztrátám hmoty – při karbonizaci viskózy se přemění pouze 25% hmoty původního vlákna [14].

Je známo několik metod výroby uhlíkových vláken. První z nich je založena na dehydrogenaci a karbonizaci organických polymerních vláken, kdy při jejich zahřívání ve vhodné atmosféře vznikají souvislá karbonová vlákna s průměrem mezi 1 - 5 μm.

Druhá metoda se týká výroby diskontinuálních vláknenných segmentů odpařováním uhlovodíku a poté pomocí styku plynu s uhlovodíkovými parami a vhodným kovovým katalyzátorem. Tento typ uhlíkového vlákna je znám jako VGCF (Vapour Grown Carbon Fiber) a vyznačuje se několika μm v průměru a délkou od několika mikronů až po několik centimetrů.

V dnešní době se uhlíková vlákna vyrábějí převážně z vláken viskózních (Thornel 40, 50, 75 a 100) či polyakrylonitrilových (PAN), a nejnověji z vláken novoloidu (vláken fenyl – aldehydových). Alternativně i z tzv. anizotropní smoly (pitch) zvlákněvané v tavenině [14].

Počátek šedesátých let zaznamenal úspěšné pokusy o karbonizaci dalších organických vláken. Nejlepším prekurzorem se jeví vlákna polyakrylonitrilová [22]. S průmyslovou výrobou z polyakrylového vlákna se začalo v roce 1971 v Japonsku. Z tohoto materiálu pochází asi 90 % uhlíkových vláken z celkové světové produkce (rok 2009 - 45 000 tun) [15].

Za počátek výroby uhlíkových vláken ze smol (izotropních nebo mezofázových) se označuje rok 1976. Výrobky z mezofázových smol se vyznačují podstatně vyšším modulem pružnosti a vyšší tepelnou vodivostí.

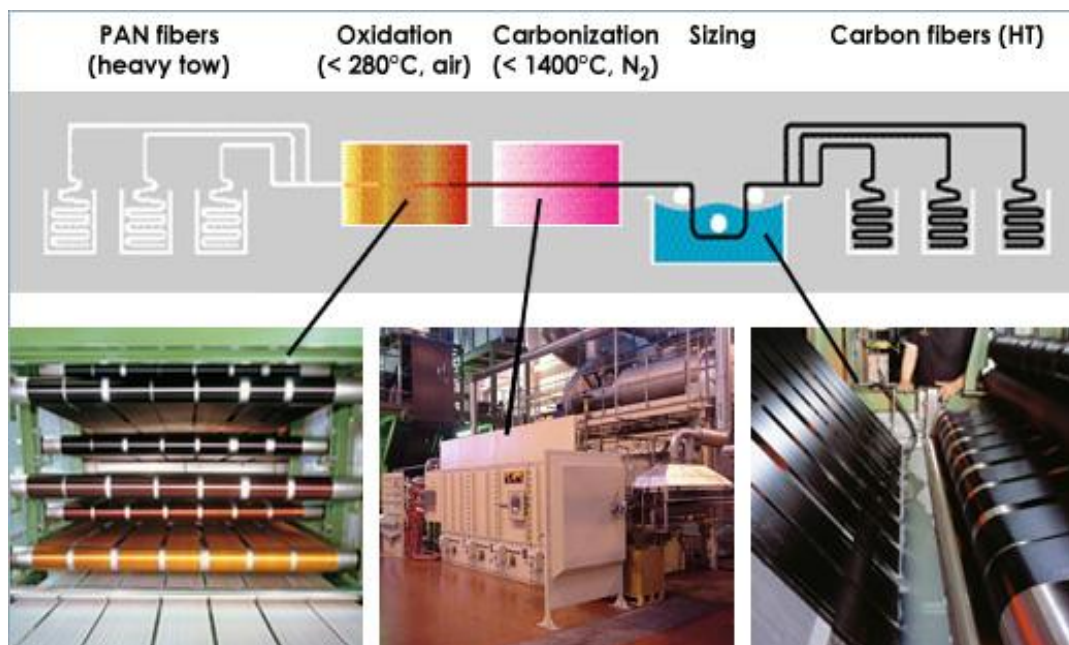
V 90. letech minulého století se zkoušela výroba uhlíkových vláken z *fenol-aldehydových* prekurzorů. Výrobky se vyznačovaly lepší přilnavostí k pryskyřicovým matricím [57].

Uhlíková vlákna z par, díky rozpracování katalytických vlivů přechodných kovů, obzvláště železa na kvalitu růstu vláken, postupně přecházely do průmyslových objemů. Po objevu fullerenů přicházejí na svět uhlíkové nanotrubice a vzniká tak plynulý přechod od kontinuálních uhlíkových vláken až po nanovlákna. Technologický vývoj v oblasti uhlíkových vláken pokračuje neustále dál k vyšším mechanickým parametrům a k jejich lepšímu využití.

Postup výroby uhlíkových vláken

1. Příprava prekurzoru: úprava výchozího materiálu buď tavným zvlákňováním, nebo zvlákňováním z *roztoku*. Struktura prekurzoru ovlivní strukturu a pevnost uhlíkových vláken. Vlákně je pak dlužno na požadovanou jemnost.
2. Stabilizace: před karbonizací je třeba, aby z dlouhých uhlíkových vláken vznikla teplotně stabilní zesíťená struktura. Provádí se na vzduchu zahřátím na poměrně nízké teploty 200 - 450 °C na 20 – 30 minut za působení tahového napětí. Dochází k cyklizaci vazeb v řetězci makromolekuly a vytvoření paralelních žebříkovitých makromolekul a k vzájemnému zesíťení makromolekul kyslíkovými můstky, které vlákno stabilizují a zamezují měknutí vlákna během karbonizace. Při stabilizaci vzniká ve vláknech také vlastní teplo, které musí být kontrolováno, aby se zabránilo přehřívání vlákna.
3. Karbonizace: jedná se o převod prekurzoru na uhlíková vlákna. Provádí se v inertní atmosféře (dusíkové), při teplotách mezi 1100 °C – 1400 °C. Vysoká teplota způsobí rozkmitání atomů ve vláknech tak, že většina neuhlíkových atomů je odstraněna. (odstraní se vodík a sníží obsah dusíku a kyslíku). Vlákně dosáhne maximální pevnosti v tahu. Výsledné vlákno obsahuje 80 - 95 % uhlíku.
4. Grafitizace: Provádí se v inertní (dusíkové nebo argonové) atmosféře, při teplotách mezi 2400 °C - 3000 °C. Dochází ke zvýšení obsahu uhlíku na cca 99 % a dochází k zlepšení uspořádání grafenových vrstev a jejich růstu [14].

Procesy výroby uhlíkových vláken na bázi smol a mezofáze jsou podobné jako u vláken z PAN (Obr. 28), jen s tím rozdílem, že na rozdíl od vláken PAN jsou vlákna na bázi mezofáze grafitovatelné a snadno dosahují vysoce orientované struktury i bez dalšího napínání. Jejich další výroba je tedy na rozdíl od komplikovaného spřádání jednodušší [58].



Obr. 28: Schéma výroby uhlíkových vláken [24]

Uhlíková vlákna jako technický materiál jsou tedy známa zhruba 50 let. Postupně byly vyvíjeny nové typy vláken se speciálními vlastnostmi, tak původní materiál sloužící pouze pro vysokoteplotní izolace získával stále vyšší pevnost, modul pružnosti, elektrickou a tepelnou vodivost respektive adsorpční vlastnosti.

Rozdělení uhlíkových vláken

Uhlíková vlákna lze rozdělit jednak podle jejich prekurzoru, ale také podle jejich mechanických vlastností.

uhlíková vlákna nižších parametrů

Tato vlákna jsou obvykle připravována přímo ve formě textilních útvarů - tkanin, pásků, apod. Prekurzorem je viskóza nebo izotropní smoly. Používají se jako tepelná izolace, elektromagnetické stínění, odstraňování elektrostatických nábojů v povrchových vrstvách kompozitních struktur.

uhlíková vlákna s vysokými parametry (high performance carbon fibers)

Do této skupiny zahrnujeme vlákna připravená z polyakrylonitrilové suroviny, z mezifázových smol a vlákna charakteru whiskerů připravených katalytickým rozkladem plynných uhlovodíků (VGCF – vapor grown carbon fibres).

VGCF centimetrových délek se vyznačují vysokou elektrickou a tepelnou vodivostí až $2,6 \cdot 10^6 \text{ S.m}^{-1}$, respektive $1900 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ [15].

Podle konkrétních mechanických vlastností jsou uhlíková vlákna dále členěna na: HT, HM, IM, UHM vlákna:

- standardní karbonizovaná vlákna
 - AS (average strength) - s průměrnou pevností
 - HS (high strength) - s vysokou pevností
 - HT (high tenacity) - s vysokým modulem pružnosti (typická vlákna mají označení T300 od firmy Toray)
- vlákna vysoce pevná (HT – Hight Tensile)
standardně mají tato vlákna modul pružnosti v tahu 230 – 300 GPa a pevnost v tahu 3 – 4 GPa, přičemž novější vlákna o stejném modulu vykazují mnohem vyšší pevnosti (až 7GPa)
- středně modulová vlákna (IM – “Intermediate Modulus”)
tato vlákna mají modul pružnosti nad 290 GPa a pevnost vyšší než 4 GPa (M30SC fy Toray, IM 8 fy Hexcel, IMS fy Tenax a MR nebo MS fy Pyrofil)
- vlákna s vysokým modulem pružnosti (HM – “High Modulus”)
obvykle mají pevnost v tahu 2,4 – 4 GPa a modul elasticity nad 400 GPa (M46 – M60 fy Toray, UMS fy Tenax)
- vlákna se supervysokým modulem (UHM Fibers – Ultrahigh Modulus Fibers)
dosahují stejných pevností v tahu jako vysokomodulová vlákna, ale modul elasticity přesahuje hodnotu 550 GPa (UHM fy Hexcel)

Vysokých pevností se dosahuje u vláken na bázi PAN, zatímco nejvyššího modulu především u vláken vyráběných z mezofázových smol [15].

Další dělení uhlíkových vláken:

- dutá uhlíková vlákna
- diskontinuální vlákna porušená tahem (SBCF, “Stretch-Broken Carbon Fiber”)
- mletá uhlíková vlákna
- recyklovaná uhlíková vlákna

3. Průzkum trhu s oděvy obsahující uhlíková vlákna

Největší část trhu s oděvy obsahující vlákna s podílem uhlíku jsou, jak již bylo zmíněno výše, ochranné oděvy a to hlavně antistatické.

3.1. Antistatické oděvy

Při výběru antistatických oděvů pro čisté prostory je kromě antistatických vlastností dobré znát složení látky, protože např. použití bavlny v těchto prostorech je nevhodné – z bavlny se uvolňují vlákna a částice. Důležitou vlastností pro vlastní nošení je také anti-alergická úprava látky, což je dnes ve většině případů standardem.

Použití dočasných antistatických úprav textilií například antistatickými avivážemi je zcela nevhodné, protože nezaručuje stabilitu a stálost vlastností. Také neplatí vžité tvrzení, že bavlněné oděvy jsou automaticky antistatické.

Oděv je z hlediska normy EN 61340-5-1 antistatický, když splňuje její požadavky na předměty chránící před elektrostatickými náboji.

Bavlněné oděvy mohou tyto parametry splnit, ale bez vetkaných antistatických (vodivých) vláken není zaručena stabilita vlastností v čase a při změnách vlhkosti. Pro bezpečné použití bavlny či viskózy, jako antistatických materiálů je nutné, aby relativní vlhkost vzduchu nebyla nižší než 65% [7]. Ne vždy je však možné zajistit tuto podmínku, proto je potřeba textilie, ve které nebude vznikat statický náboj během jejího použití za jakýchkoliv atmosférických podmínek. Vlastnosti oděvů se mohou také měnit s dobou používání nebo praním, proto je vhodné provádět jejich přiměřené kontroly.

Hlavní nebezpečí skýtá lidské tělo. To je schopno vytvořit vysokou statickou elektřinu až 40.000 voltů [51]. Oděvy, na kterých může být generována takto vysoká úroveň statické elektřiny, jsou jednou z příčin poškození výbojem. Je důležité, aby takto nabitě oděvy nepřišly do kontaktu s citlivými elektrosoučástkami.

Jedná se zejména o syntetické materiály. Vrchní antistatické oděvy musí být proto uzemněny přímým kontaktem s pokožkou příslušné osoby nebo alternativními prostředky, např. připojením k náramkům. Všechny oděvy chránící proti výboji musí dodržovat tento princip včetně případu, kdy sestávají ze dvou nebo více samostatných oděvů. Je důležité, aby rukávy chránící proti ESD překrývaly konce rukávů spodního oděvu.

Značení, že oděv je ve shodě se specifikacemi, může mít slovní podobu nebo může rovněž být použito logo s rukou (Obr. 29).



Obr. 29: označení pro ESD produkty[50]

Antistatické oděvy jsou vyráběny ve velké škále výrobků. Jedná se o vesty, trička, pláště, pokrývky hlavy, návleky na prsty, rukavice, boty a další. Slouží k rozptýlení statického náboje a zabraňují jeho akumulaci zvláště ve velmi suchém prostředí a čistých prostorách - hodnoty odporů dle ČSN EN 61340.

Pokud se jedná o oděvy pro manažery, kteří vstupují do EPA prostoru, tak by tyto oděvy měly být reprezentativní a elegantněji vyhlížející (Obr. 30).



Obr. 30: oděvy pro manažery s příměsí vodivých vláken [50]

Jelikož se po výrobě můžou pohybovat i různé návštěvy, je nutné i je zabezpečit proti vzniku výboje. K tomu se využívá antistatických plášťů, návleků, jednorázových papírových nebo opakovaně použitelných textilních uzemňovacích pásků na obuv (patičky) či uzemňovacích špiček (Obr. 31) [50].



Obr. 31: ESD produkty [50]

3.2. CleverTex®

Svět speciálních ochranných textilií je velmi rozmanitý a složitý. Firma VÚB a.s., která vznikla v roce 1949 (Výzkumný ústav bavlnářský) se v posledních deseti letech přeorientovala na výrobu speciálních ochranných textilií a klasickou bavlnářskou výrobu pomalu opouští. Vzhledem k nepřeborným zkušenostem celé firmy jsou zde předpoklady pro vznik kvalitních moderních materiálů. V roce 2010 firma VÚB zaregistrovala ochrannou známku CleverTex® pro celou EU a další země. Tato ochranná známka sdružuje speciální textilie a oděvy vyráběné ve VÚB a.s. pod jedno jméno.

Antistatické výrobky CleverTex® obsahují příze, které se skládají z vodivých uhlíkových vláken.

4. Experimentální část

Cílem této diplomové práce bylo ověřit vodivostní vlastnosti vybraných textilií s obsahem vodivých vláken či s antistatickou úpravou. Tato práce bude použita jako podklad, pro výběr a výrobu materiálu pro produkci oděvů vhodných pro užití jako pracovní oděvy.

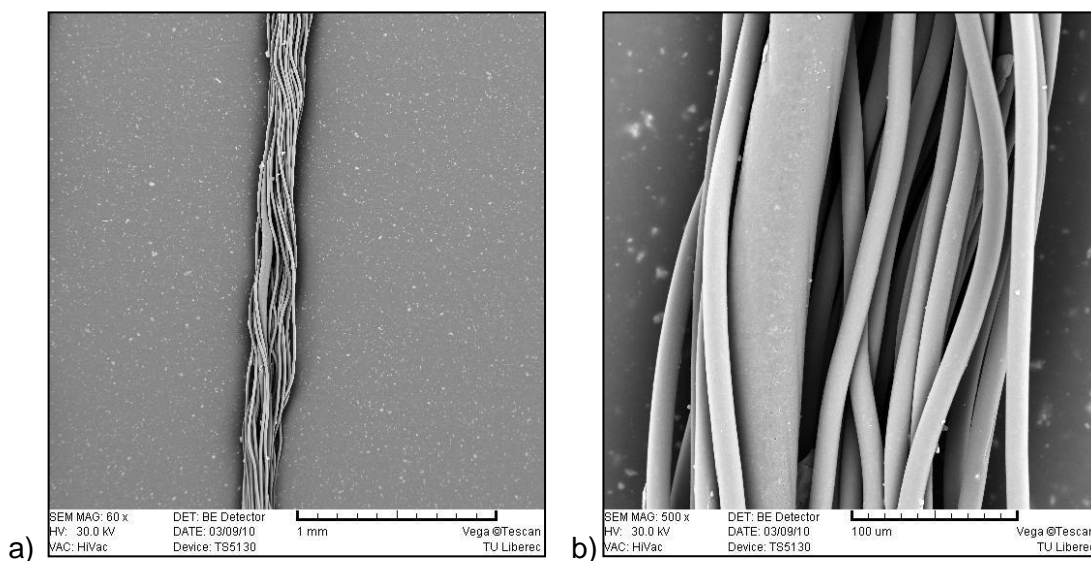
4.1. Přehled vzorků

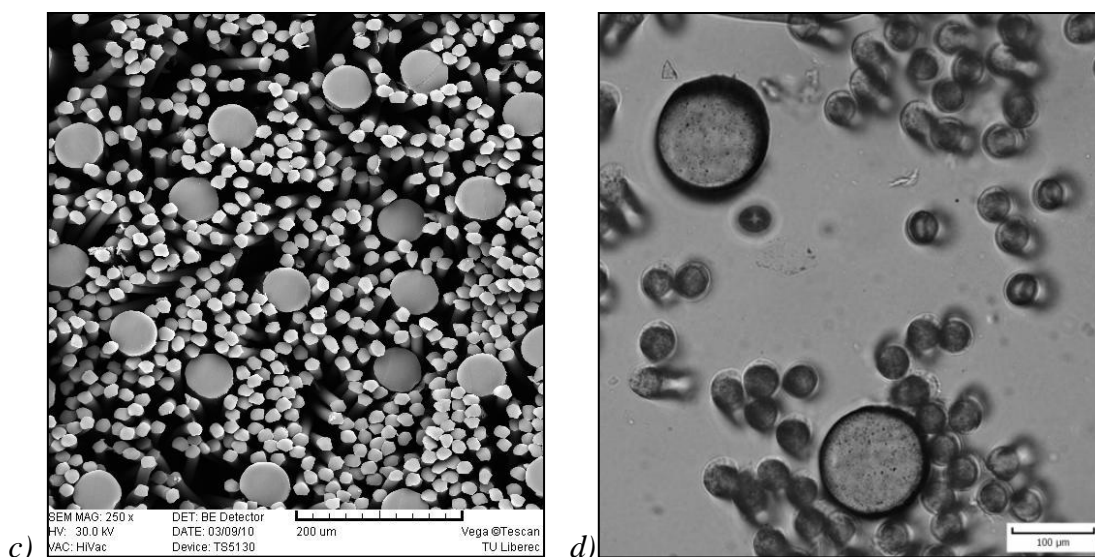
V rámci praktické části diplomové práce bylo testováno celkem 16 vzorků pletenin. Jednalo se o jednolící zátěžné pleteniny z bavlny, které obsahovaly buď příze z antistatických (vodivých) vláken, nebo byly ošetřeny antistatickou úpravou.

10 vzorků pletenin bylo vyrobeno firmou SINTEX, a.s.. Tato česká firma se zabývá vývojem a výrobou úpletů a tkanin z trendových a speciálních vláken a směsí, které mají vysokou přidanou hodnotu. 6 vzorků pletenin bylo dodáno firmou ZENA HONGKONG Industrial Ltd.

SINTEX – Resistat F9601

Testované vzorky od firmy Sintex, a.s. obsahovaly ve své struktuře antistatickou přízi Resistat F9601 (Obr. 32), která je tvořená vlákennými komponentami s uhlíkovou vrstvou na povrchu. Tato příze je vyráběna firmou Sheakspear, Co. a pro testovanou pleteninu byla použita specifikace 81dtex f35 PESh + 25dtex f1 Resistat F9601.





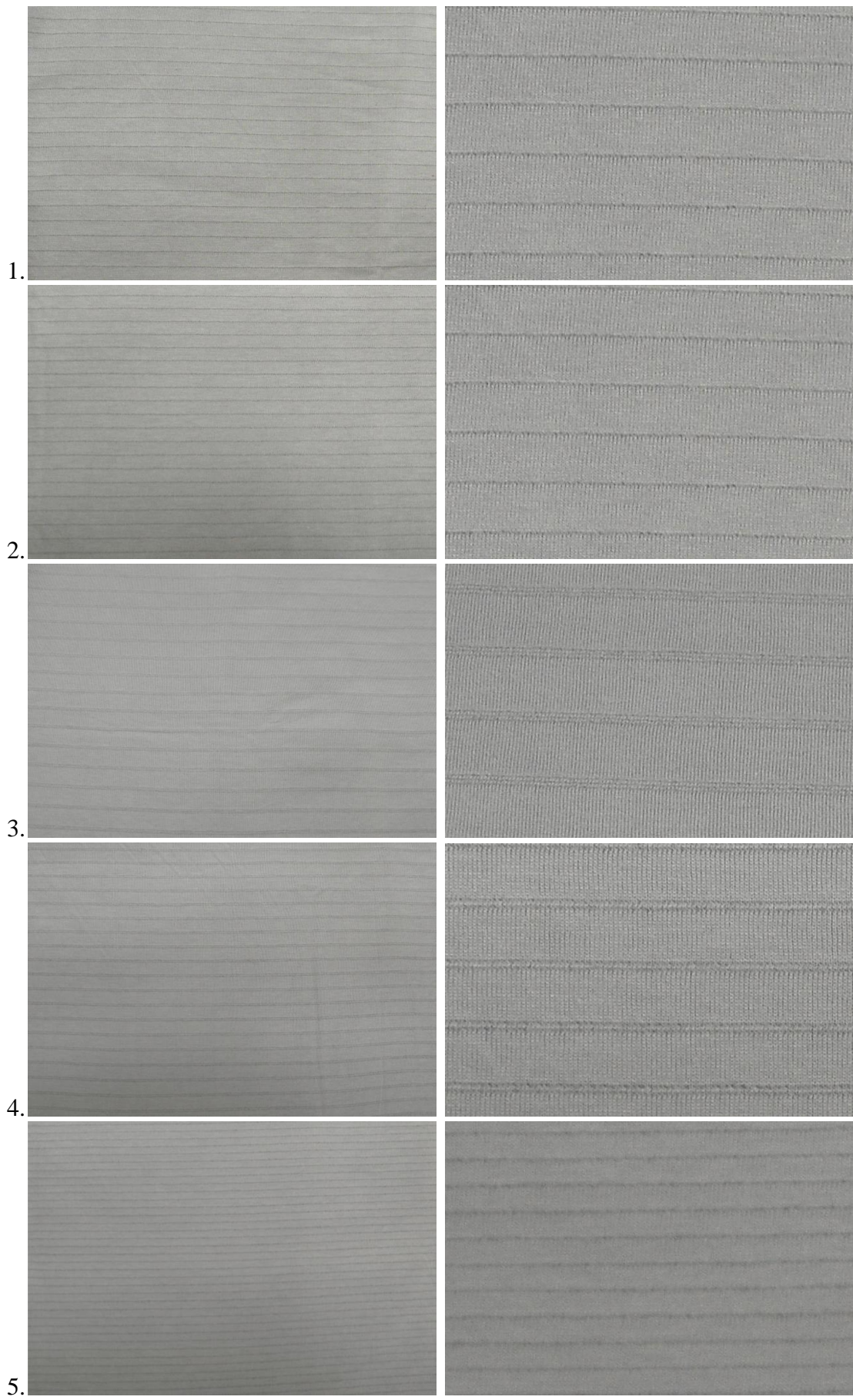
Obr. 32: Mikroskopické snímky příze Resistat: a), b) podélný pohled; c), d) příčný řez.

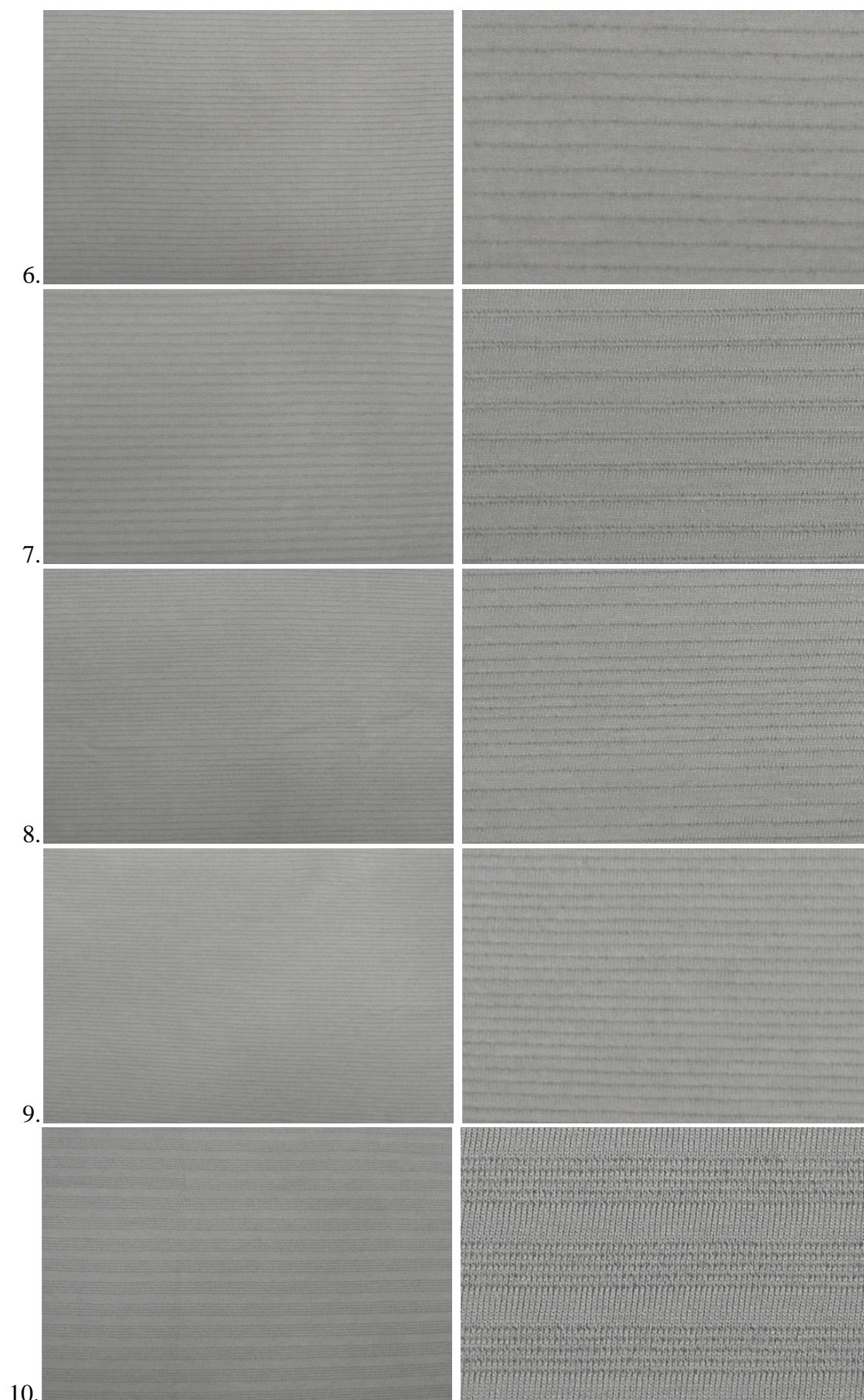
Tato příze byla vpletena do nosné textilie v různě vzdálených proužcích (roztečích). Obsah vodivé komponenty byl u každého vzorku jiný. Bližší specifikace jednotlivých vzorů je uvedena níže v Tab. 4.

| foto č. | materiál | materiálové složení (bavlna/antistat.vl [%]) | plošná hmotnost (g/m^2) |
|---------|----------|--|------------------------------------|
| 1 | JP 3073 | 97/3 | 155 |
| 2 | JP 3074 | 96/4 | 155 |
| 3 | JP 3075 | 95/5 | 155 |
| 4 | JP 3076 | 94/6 | 155 |
| 5 | JP 3077 | 93/7 | 155 |
| 6 | JP 3078 | 92/8 | 155 |
| 7 | JP 3079 | 91/9 | 155 |
| 8 | JP 3080 | 90/10 | 155 |
| 9 | JP 3081 | 89/11 | 155 |
| 10 | JP 3082 | 88/12 | 155 |

Tab. 4: Seznam testovaných materiálů dodaných firmou Sintex

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny pleteniny s přízí Resistat. Je na nich viditelné, hlavně v detailu, rozložení vodivé příze v nosné textilií (Obr. 33).





Obr. 33: 1 – 10: pleteniny obsahující přízi Resistat

ZENA HONGKONG Industrial Ltd.

Testované vzorky od firmy ZENA HONGKONG Industrial Ltd. byly dodány ve dvou barevných provedeních (01 black - černá, 11 orange - oranžová)(Obr. 34) dle požadavků a barevnice firmy Adler Czech, a.s..

Od tohoto výrobce byly dodány 3 skupiny vzorků. První skupinu tvořily pleteniny s obsahem uhlíkových vláken, druhá skupina obsahovala vlákna s obsahem kovu a pleteniny třetí skupiny byly ošetřeny antistatickou úpravou. I zde se jednalo o vzorky jednolící zátěžné pleteniny.

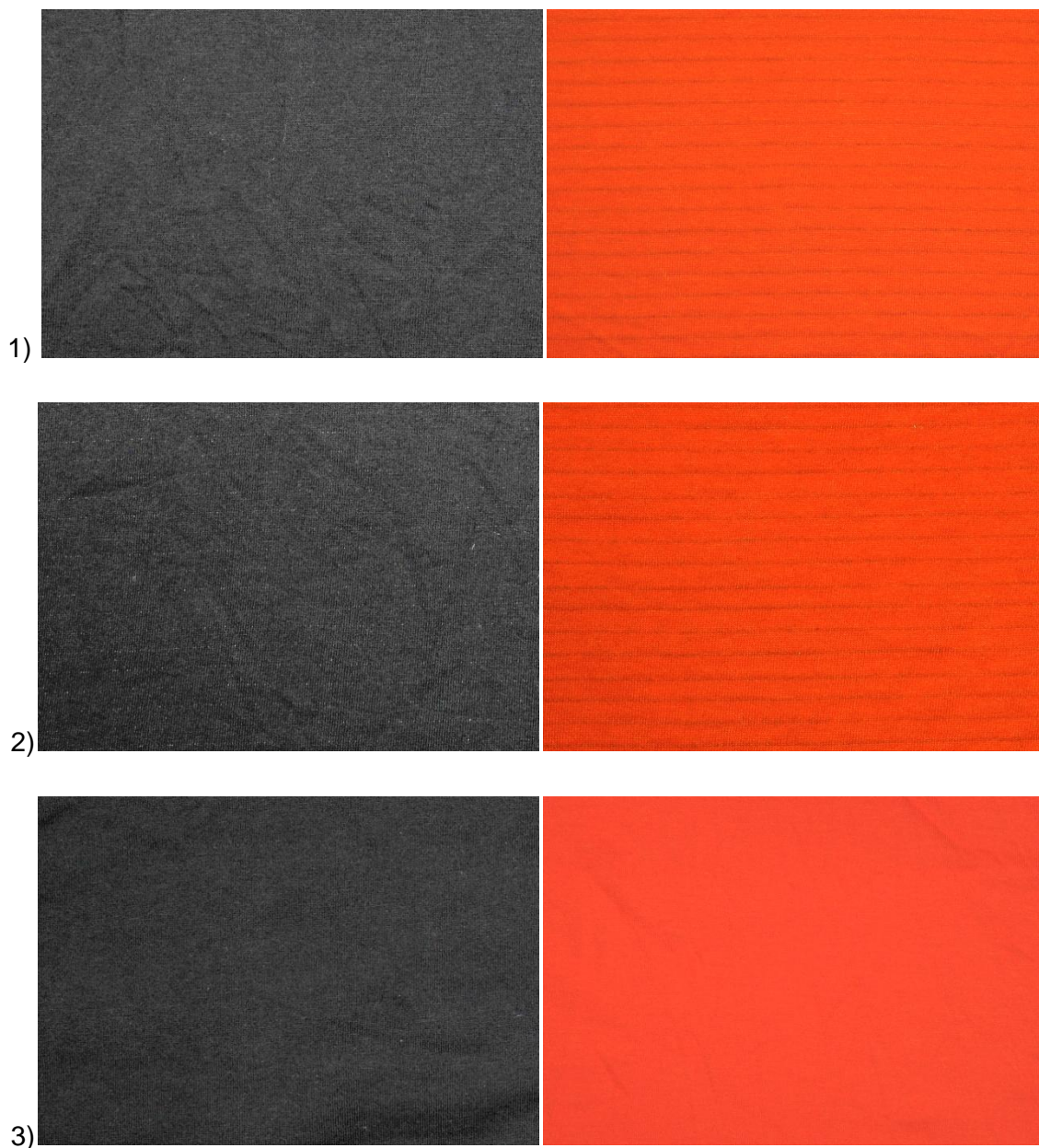
V případě vzorků dodaných z Číny, se dle vyjádření výrobce, u přízí s obsahem vodivých vláken, jednalo o bambusové (celulózové) příze s příměsí uhlíku a stříbra. Přehled jednotlivých materiálů je uveden v následující tabulce (Tab. 5):

| materiál | materiálové složení (bavlna/antistat.vl [%]) | plošná hmotnost (g/m²) |
|--------------------------|---|--|
| kov - černá | 96/4 | 150 |
| kov - oranžová | 96/4 | 150 |
| uhlík - černá | 96/4 | 150 |
| uhlík - oranžová | 96/4 | 150 |
| úprava - černá | 100 | 150 |
| úprava - oranžová | 100 | 150 |

Tab. 5: Seznam testovaných materiálů dodaných firmou

ZENA HONGKONG Industrial Ltd.

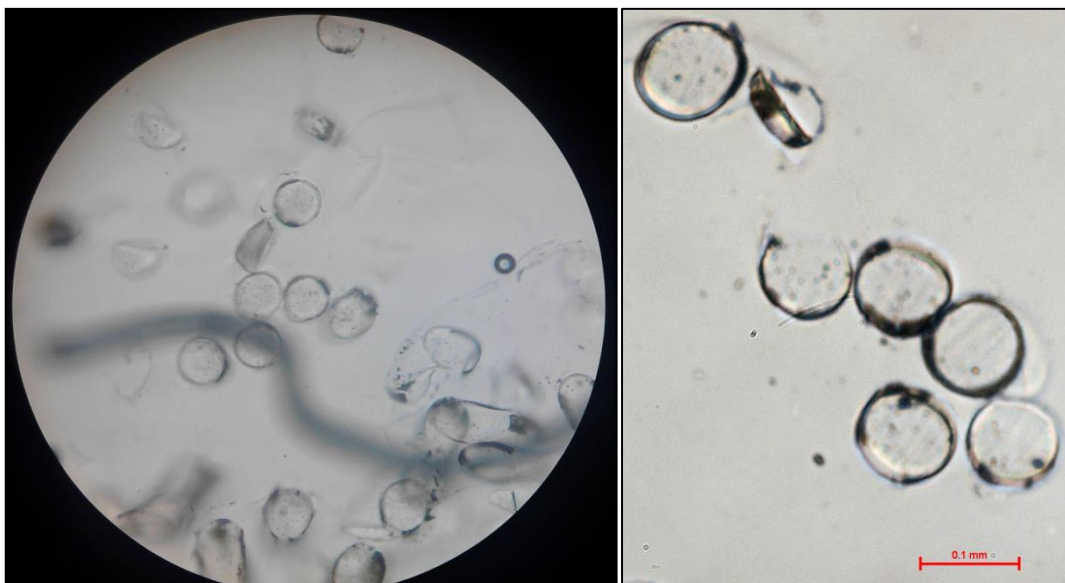
Bohužel na následujících fotkách není u pletenin v černé barvě dostatečně zřetelné pruhování, což je způsobeno tmavou barvou vodivých přízí. Každopádně vypletený vzor je na černé pletenině stejný jako u oranžové.



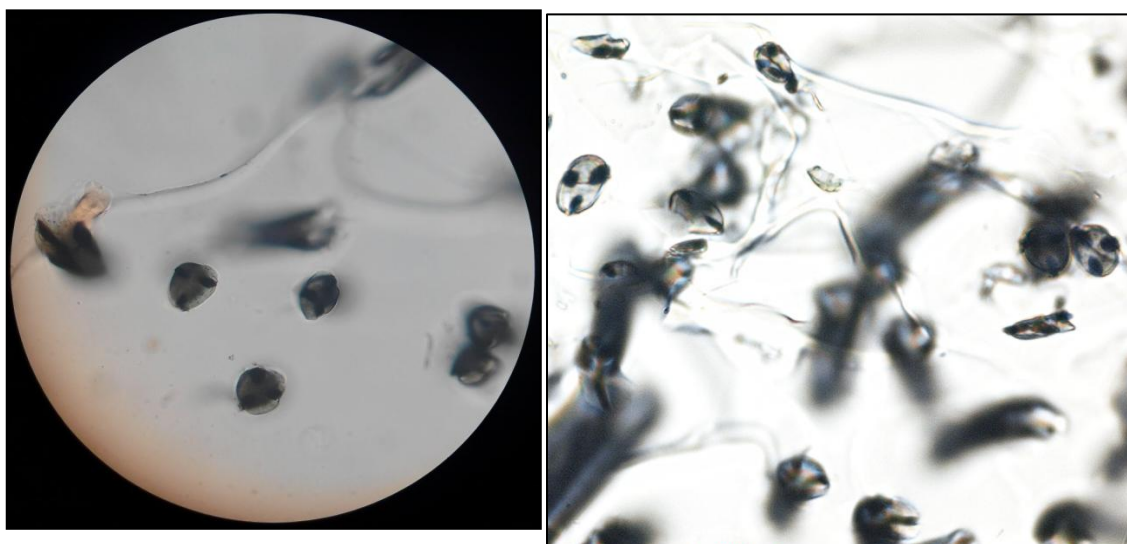
Obr. 34: pleteniny dodané firmou ZENA HONGKONG Industrial Ltd

- 1) pletenina obsahující uhlíková vlákna; 2) pletenina obsahující vlákna s obsahem kovu;
3) pletenina s antistatickou úpravou*

Prvotní úvahou bylo, že tyto vodivé materiály budou nanесeny na povrch vlákn. Avšak mikroskopické pozorování ukázalo, že v případě kovu, byl vodivý materiál rozptýlen přímo ve hmotě vlákna (Obr. 35). U vláken s příměsí uhlíků, pozorování dokonce ukázalo přítomnost vláken bikomponentních (Obr. 36). U pleteniny s antistatickou úpravou bylo použito neiontového činidla.



*Obr. 35: Mikroskopické snímky příčných řezů přízí dodanými firmou ZENA
HONGKONG Industrial Ltd – vlákna s příměsí kovu*



*Obr. 36: Mikroskopické snímky příčných řezů přízí dodanými firmou ZENA
HONGKONG Industrial Ltd – vlákna s příměsí uhlíku*

4.2. Testování

V běžné textilní praxi se k hodnocení „antistatických textilií“ používá měření povrchové rezistivity, k měření objemové rezistivity se přistupuje pouze ve sporných případech.

K samotnému měření byl použit přístroj Agilent (Hewlett-Packard) 4339B High Resistance Meter (Obr. 37).



Obr. 37: Agilent (Hewlett-Packard) 4339B High Resistance Meter [49]

Parametry přístroje [49]:

- měřící rozsah přístroje:
 - R:** 1×10^3 až $1,6 \times 10^{16} \Omega$
 - I:** 60 fA až 100 μ A
- maximální proud:
 - 10 mA pro napětí ≤ 100 V
 - 5 mA pro napětí ≤ 250 V
 - 2 mA pro napětí ≤ 500 V
 - 1 mA pro napětí > 500 V
- měřená veličina:
 - $\rho_s [\Omega]$, $\rho_v [\Omega m]$
- čas měření:
 - 15s pro jednu hodnotu

Na souboru textilií s různou roztečí horizontálně vpleteného antistatického vlákna, byla provedena měření:

- a) povrchové rezistivity textilie [Ω],
- b) objemové rezistivity textilie [$\Omega.m$].

V následující tabulce (Tab. 6) jsou zobrazeny antistatické stupně a jejich hodnoty, které je nutné dosáhnout, k tomu aby materiál daný stupeň splňoval.

| Antistatický stupeň | Povrchová rezistivita textilie [Ω] | Objemová rezistivita textilie [$\Omega.m$] |
|---------------------|---|--|
| výborný | $10^6 \div 10^7$ | $10^6 \div 10^7$ |
| velmi dobrý | $10^7 \div 10^8$ | $10^7 \div 10^8$ |
| dobrý | $10^8 \div 10^9$ | $10^8 \div 10^9$ |
| průměrný | $10^9 \div 10^{10}$ | $10^9 \div 10^{10}$ |
| sotva vyhovující | $10^{10} \div 10^{11}$ | $10^{10} \div 10^{11}$ |
| nevyhovující | $10^{11} \div 10^{13}$ | $10^{11} \div 10^{13}$ |

Tab. 6: Hodnocení antistatických vlastností [59].

Hodnocení elektrických vlastností plošných útvarů

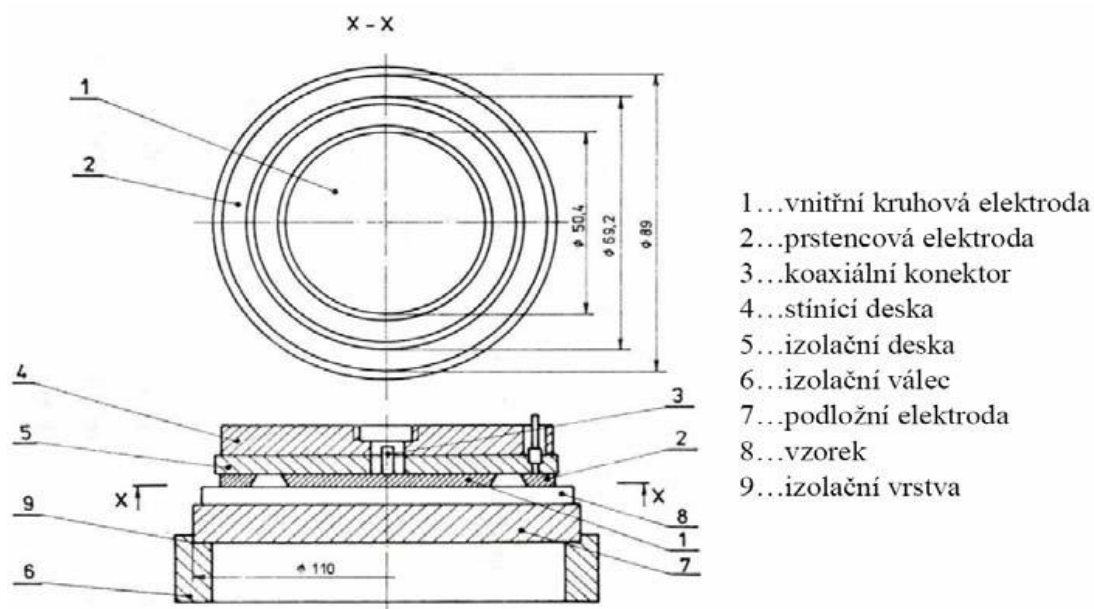
Hodnocení elektrických vlastností bylo provedeno pomocí měření povrchového a vnitřního odporu bylo provedeno dle normy ČSN 34 1382.

Povrchový odpor plošných textilií R_s

Pro měření povrchového odporu textilních materiálů a folií se používá koncentrická elektroda odpovídající normě ČSN EN 1149-1, EN 100015, ČSN EN 61340-5-1 (Obr. 38).

Podložná elektroda je po jedné straně potažena izolační vrstvou o tloušťce 1 mm a odporu větším než $10^{14} \Omega$. Druhou část tvoří izolační válec s vybráním pro uložení podložné elektrody. Přítlačná koncentrická elektroda se skládá z vnější prstencové elektrody a vnitřní kruhové elektrody, které jsou nalepeny na izolační desce. Na druhé straně izolační desky je kovová stínící deska.

Po přípravě se vzorek položí na izolační vrstvu podložné elektrody, která je položena ve válci izolační vrstvou nahoru. Na vzorek se položí koncentrické elektrody, na které se připojí měřicí přístroj (Obr. 37) [48].



Obr. 38: Zařízení pro měření povrchového a vnitřního odporu textilií [48]

Povrchová rezistivita plošných textilií ρ_s

Pro měření povrchové rezistivity textilie je nutné znát hodnotu středního obvodu elektrod a vzdálenost elektrod. Tyto hodnoty je možno zadat při měření přímo do měřicího přístroje, poté je možno odečítat hodnoty povrchové rezistivity z přístroje bez následného přepočítávání naměřených dat. Pokud nelze zadat tato data do měřicího přístroje, je nutno naměřený povrchový odpor přepočítat podle vztahu:

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{o}{l}, \quad (60)$$

kde: R_s ...povrchový odpor [Ω]

o ...střední obvod (resp. délka elektrod) [m]

l ...vzdálenost elektrod [m]

Vnitřní odpor plošných textilií R_V

Měření vnitřního odporu plošných vzorků textilu se také provádí pomocí koncentrické elektrody. Kruhová podložná elektroda se položí na válec izolační vrstvou dopod. Vzorek se položí na kovovou plochu a zatíží koncentrickými elektrodami. V tomto případě je však zapojení jiné nežli u povrchového odporu.

Objemová rezistivita plošných textilií ρ_V

Pro měření objemové rezistivity textilie je nutné znát hodnotu její tloušťky (ČSN EN 150 5084). Dále je nutno znát plochu elektrod. Tyto hodnoty je možno zadat při měření objemové rezistivity do měřicího přístroje, poté je možno odečítat hodnoty objemové rezistivity z přístroje bez následného přepočítávání naměřených dat. Obdobně jako u povrchové rezistivity, pokud není možné zadat tloušťku textilie a plochu elektrod do měřicího přístroje, přepočet naměřeného objemového odporu na objemovou rezistivitu se řídí vztahem:

$$\rho_V = R_V \cdot \frac{S}{h} \quad (60)$$

kde: R_V ...objemový odpor [Ω]
 h ...tloušťka textilie [m] (viz příloha 6)
 S ...plocha elektrod [m^2]

Pro získání výsledků objemové rezistivity bylo nutné zjistit tloušťku jednotlivých pletenin. Tloušťka textilie je definována jako *kolmá vzdálenost mezi lícem a rubem textilie*. Podmínky měření jsou přesně stanoveny normou ČSN EN ISO 5084 (800844). Měření tloušťky textilie je předepsáno za přesně stanoveného přitlaku čelisti. V tomto případě je přitlak stanoven na 1000 Pa. K měření je používáno tloušťkoměrů různých konstrukcí, v tomto případě bylo použito tloušťkoměru Uni Thickness Meter (Obr. 39) [47]. Principem měření však zůstává změření vzdálenosti mezi dvěma čelistmi, mezi kterými je umístěna textilie.



Obr. 39: Přístroj Uni Thickness Meter pro měření tloušťky textilií [47]

V následujících tabulkách (Tab. 7 a Tab. 8) jsou uvedeny hodnoty získané měřením.

| materiál | tloušťka materiálu [mm] |
|-------------------|-------------------------|
| kov - černá | 0,476 |
| kov - oranžová | 0,432 |
| uhlík - černá | 0,472 |
| uhlík - oranžová | 0,428 |
| úprava - černá | 0,468 |
| úprava - oranžová | 0,44 |

Tab. 7: Naměřené hodnoty tloušťky pletenin firmy Zena Hongkong Industrial Ltd.

| materiál | tloušťka materiálu [mm] |
|----------|-------------------------|
| JP 3073 | 0,415 |
| JP 3074 | 0,399 |
| JP 3075 | 0,39 |
| JP 3076 | 0,401 |
| JP 3077 | 0,397 |
| JP 3078 | 0,407 |
| JP 3079 | 0,39 |
| JP 3080 | 0,397 |
| JP 3081 | 0,393 |
| JP 3082 | 0,397 |

Tab. 8: Naměřené hodnoty tloušťky pleteniny s obsahem příze Resistat

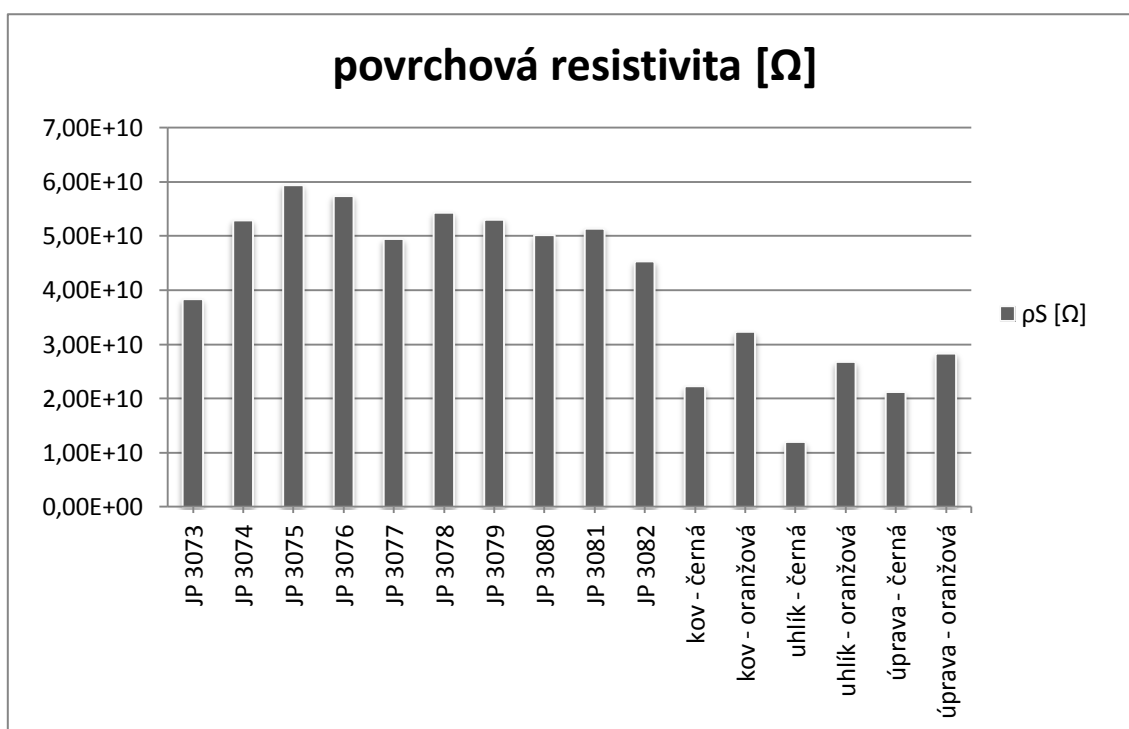
4.3. Naměřená data

Na každém vzorku bylo náhodně vybráno 10 míst. Jelikož při jednotlivých měřeních nebyly zaručeny totožné klimatické podmínky, bylo měření provedeno opakovaně. Na každém místě bylo při prvním měření získáno 15 hodnot a 10 hodnot při měření druhém. U vzorků obsahující přízi Resistat, bylo provedeno z důvodu vybočujících hodnot u druhého měření, ještě měření třetí, při kterém bylo z 5 míst odebráno 10 hodnot.

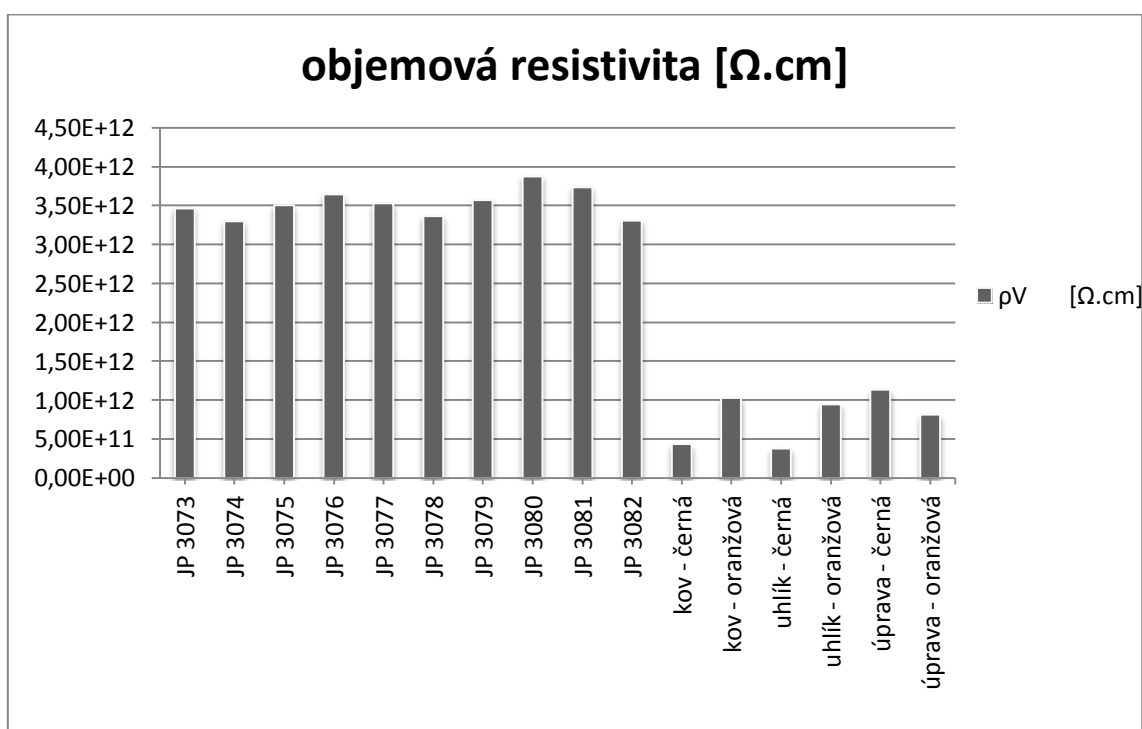
Naměřené hodnoty povrchového a objemového odporu, byly přepočítány pomocí vzorců pro plošnou a objemovou rezistivitu (viz. kapitola 4.2.3. a 4.2.5.) a byly následně zprůměrovány. Výsledné hodnoty jsou pak uvedené v tabulce (Tab. 9) a jejich grafické znázornění (Graf 1 a Graf 2) je na následujících stránkách. Podrobná data z jednotlivých měření jsou uvedena v příloze.

| materiál | $\rho S [\Omega]$ | $\rho V [\Omega.cm]$ |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| JP 3073 | 3,84E+10 | 3,47E+12 |
| JP 3074 | 5,29E+10 | 3,30E+12 |
| JP 3075 | 5,95E+10 | 3,50E+12 |
| JP 3076 | 5,75E+10 | 3,65E+12 |
| JP 3077 | 4,95E+10 | 3,53E+12 |
| JP 3078 | 5,43E+10 | 3,40E+12 |
| JP 3079 | 5,31E+10 | 3,58E+12 |
| JP 3080 | 5,03E+10 | 3,87E+12 |
| JP 3081 | 5,13E+10 | 3,74E+12 |
| JP 3082 | 4,53E+10 | 3,31E+12 |
| kov - černá | 2,23E+10 | 4,33E+11 |
| kov - oranžová | 3,23E+10 | 1,05E+12 |
| uhlík - černá | 1,21E+10 | 3,96E+11 |
| uhlík - oranžová | 2,68E+10 | 9,51E+11 |
| úprava - černá | 2,12E+10 | 1,16E+12 |
| úprava - oranžová | 2,84E+10 | 8,31E+11 |

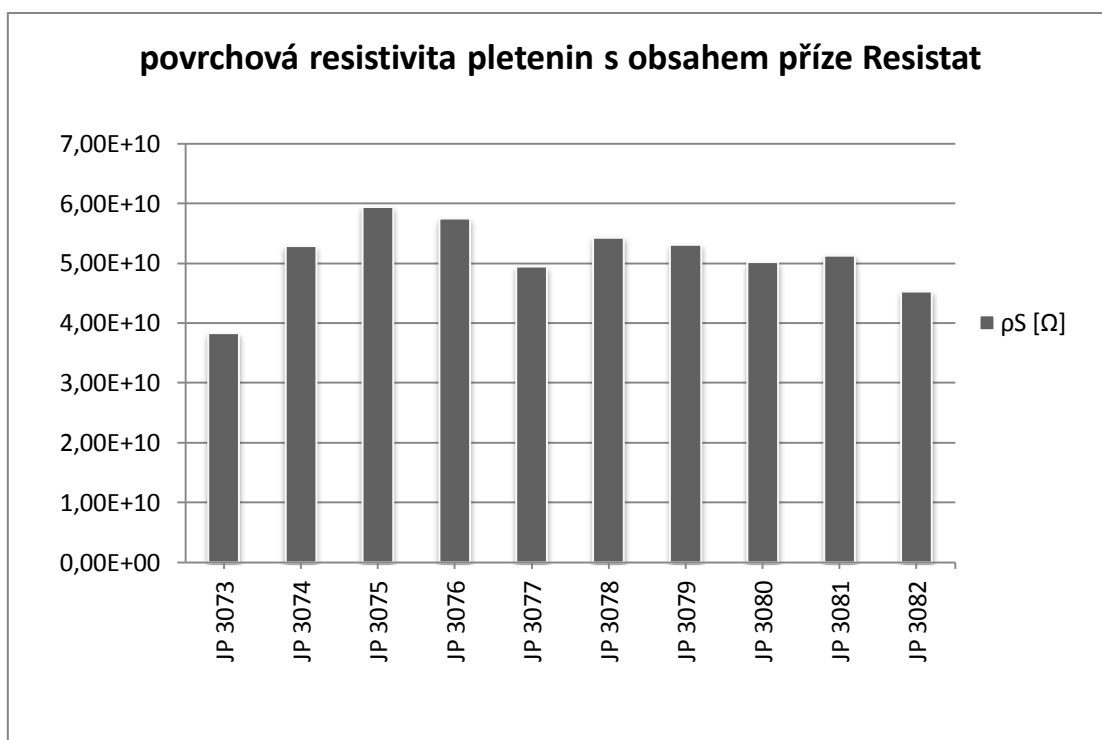
Tab. 9: Výsledné hodnoty povrchové rezistivity $\rho S [\Omega]$ a objemové rezistivity $\rho V [\Omega.cm]$



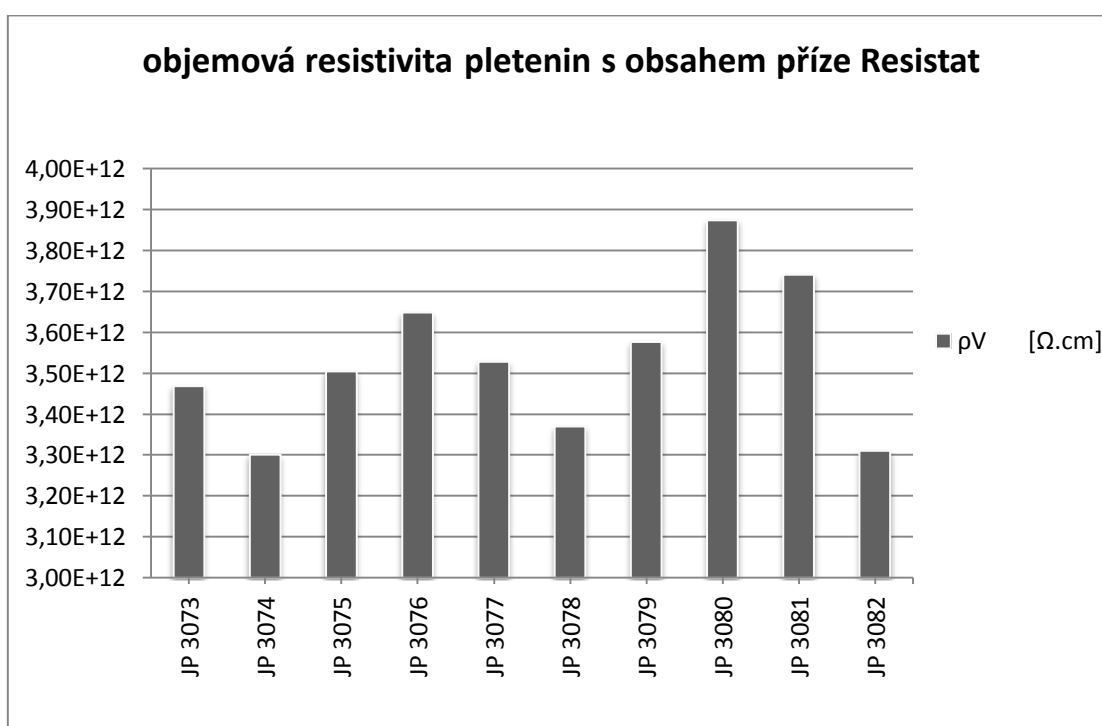
Graf 1: Výsledné hodnoty povrchové resistivity ρ_S [Ω]



Graf 2: Výsledné hodnoty objemové resistivity ρ_V [$\Omega.cm$]



Graf 3: Výsledné hodnoty povrchové resistivity ρ_S [Ω] pletenin s obsahem příze Resistat



Graf 4: Výsledné hodnoty objemové resistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] pletenin s obsahem příze Resistat

4.4. Vyhodnocení experimentu

Z materiálového složení pletenin by se dalo předpokládat, že jejich vodivost se se zvyšujícím se obsahem vodivých vláken bude také zvyšovat, tím pádem rezistivita bude klesat.

U pletenin obsahujících přízi Resistat můžeme na grafu povrchové rezistivity (Graf 5), pozorovat malý pokles s rostoucím obsahem vodivého vlákna. Avšak tento pokles není zřetelný od vzorku s nejnižším podílem vodivého vlákna. Pokles povrchové rezistivity je sledovatelný od pleteniny s označením JP3075.

Graf objemové rezistivity (Graf 6) u těchto pletenin nevykazuje klesající tendenci vzhledem k přibývajícimu obsahu vodivého vlákna.

U pletenin dodaných firmou Zena, které by všechny měly obsahovat stejný podíl vodivého vlákna (viz. Tab. 5), můžeme pozorovat, že u pletenin v černé barvě je rezistivita nižší a to jak povrchová, tak i objemová. Je možné, že použité černé barvivo příznivě zvyšuje vodivost textilie.

Pokud se budou mezi sebou porovnávat pleteniny s obsahem příze Resistat s pleteninami od firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd., tak ve výše uvedených grafech a tabulce naměřených hodnot, je možné pozorovat lepší vodivostní vlastnosti právě u vzorků z Číny, a to jak u povrchové, tak i u objemové rezistivity.

Bohužel, během měření docházelo k situacím, kdy byly v některém z míst na jedné textilií naměřeny velmi odlišné hodnoty nežli na zbytku textilie. I po provedení kontrolních měření, se tyto vychýlené hodnoty měnily minimálně, tudíž tyto odchylky přisuzuji nestejnoměrnosti příze, či nějakým vadám v přízi či pletenině.

Pokud by pleteniny byly hodnoceny dle antistatického stupně, uvedeného v Tab. 6, pak by obě dvě skupiny pletenin v případě ρ_S [Ω] byly „sotva vyhovující“ a v případě ρ_V [$\Omega.m$] dokonce „nevyhovující“.

Antistatická úprava

Jelikož mezi vzorky dodané firmou Zena HONGKONG Industrial Ltd., byly i vzorky s antistatickou úpravou, nabízelo se porovnání změny vlastností po vyprání. Praní bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 6330 Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií, kdy byl zvolen postup 5A – praní pro pračku s vodorovně otáčejícím se bubnem s postupem sušení A – sušení v závěsu na šňůře [2].

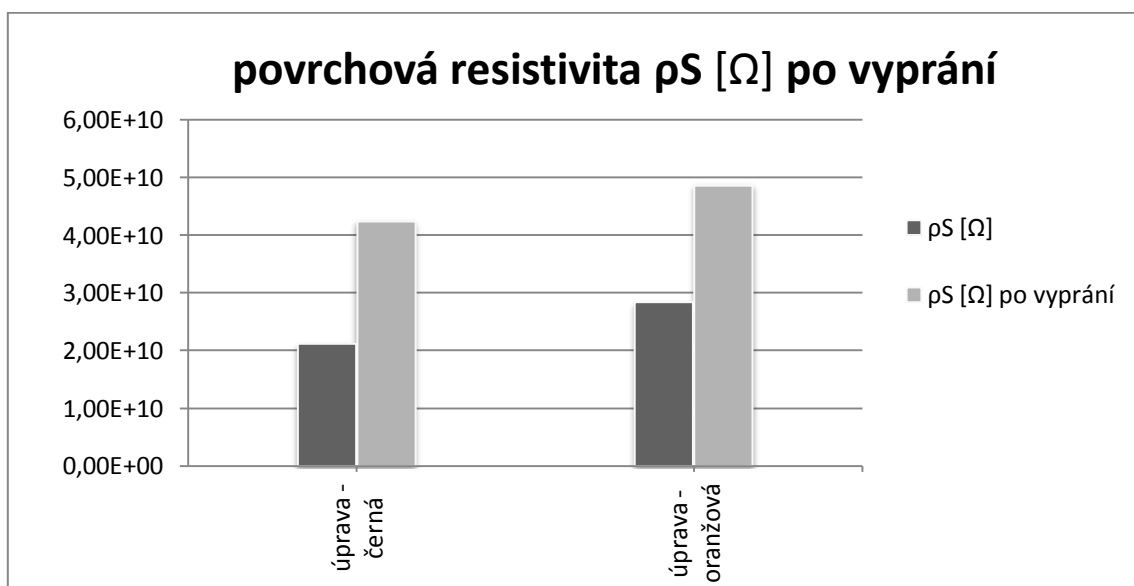
Vzorky pletenin byly vyprány v automatické pračce značky AEG, typ L 98690 FL, pomocí programu *Syntetické* na 40°C. Jako detergent byl použit prací prášek ARIEL Color and Style, 100 g na jednu prací dávku. Jelikož se jednalo o povrchovou úpravu textilie, nebyla do praní použita aviváž.

V následující tabulce (Tab. 10) jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty. U povrchové rezistivity je jasně viditelný rozdíl mezi vzorkem před vypráním a vzorkem po vyprání, a to u obou barev. Na grafu (Graf 5) je vidět, že rezistivita pletenin vzrostla. U objemové rezistivity je však na grafu (Graf 6) pozorovatelné, že rezistivita u černého vzorku překvapivě klesla.

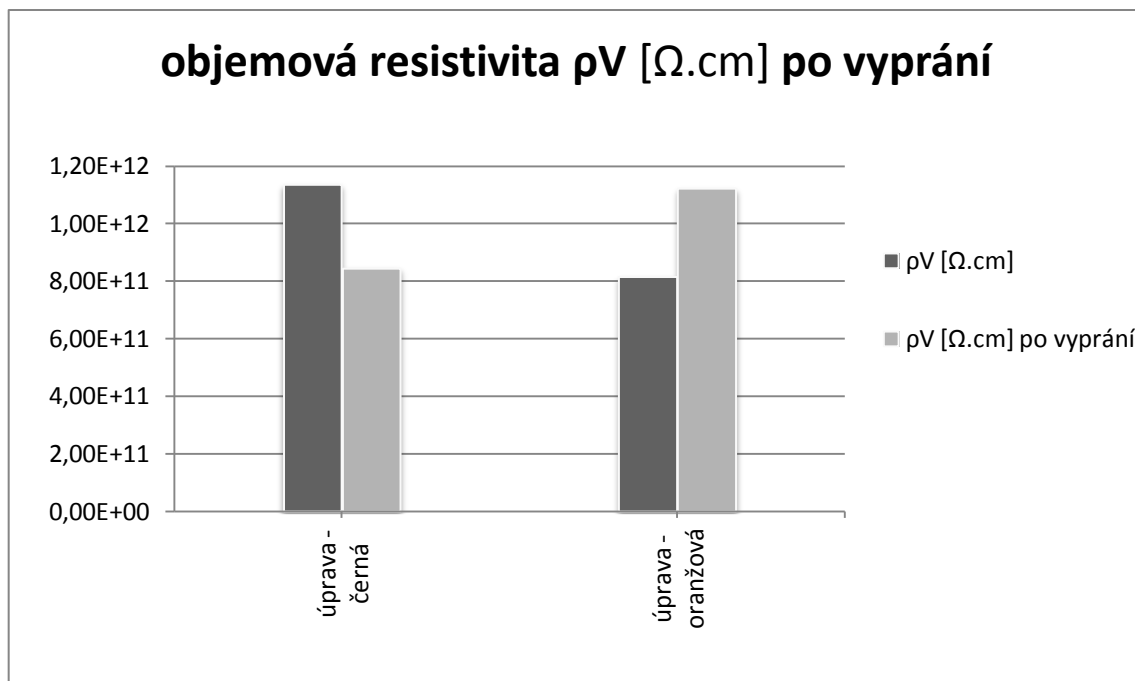
Toto však bylo pouze doplňkové měření. Pokud by pro výrobu byl využit tento materiál, určitě by bylo třeba podrobnější měření, které by vyloučilo případné chyby měření.

| označení pleteniny | ρ_S [Ω] | ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] | ρ_S [Ω] po vyprání | ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] po vyprání |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| antistatická úprava - černá | 4,243E+10 | 8,453E+11 | 4,243E+10 | 8,453E+11 |
| antistatická úprava - oranžová | 4,870E+10 | 1,122E+12 | 4,870E+10 | 1,122E+12 |

Tab. 10: Porovnání hodnot povrchové rezistivity ρ_S [Ω] a povrchové rezistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou



Graf 5: Porovnání hodnot povrchové rezistivity ρ_S [Ω] před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou



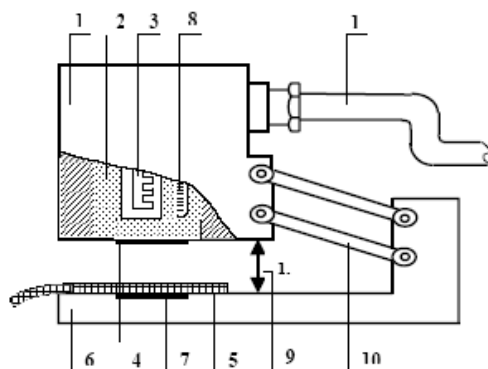
Graf 6: Porovnání hodnot objemové resistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou

4.5. Další vybrané vlastnosti z hlediska komfortu

Alambeta

Přístroj Alambeta (Obr. 40) je počítačem řízený poloautomat měřící termofyziologické vlastnosti textilií. Měří jak tepelně – izolační vlastnosti (tepelný odpor a tepelnou vodivost), tak i vlastnosti dynamické (tepelná jímavost, tepelný tok).

Proces měření spočívá v průchodu tepelného toku přes plochu vzorku. Při měření jsou snímány teploty t_1 a t_2 , přičemž t_1 značí teplotu měřící hlavy, odpovídající průměrné teplotě lidské pokožky, tedy 33°C. Teplota t_2 pak značí teplotu měřeného vzorku, která je shodná s teplotou vzduchu v laboratoři. Výsledek je pak rozdíl mezi těmito hodnotami [46].



1. měřicí hlavice
2. termostat
3. topné těleso
4. snímače tepelného toku
5. měřený vzorek
6. základna přístroje
7. snímač tepelného toku
8. teploměr
9. rozhraní simulující pocení

Obr. 40: Schéma a popis měřicího přístroje Alambeta [46]

Měřené parametry:

Tloušťka materiálu

$$h[\text{mm}]$$

Měrná tepelná vodivost (graf 6)

$$\lambda [\text{W/mK}]$$

Množství tepla, které proteče jednotkou délky za jednotku času. Hodnotu, kterou získáme z přístroje je nutno dělit 10^3 .

Měrná teplotní vodivost (graf 7)

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} [\text{m}^2/\text{s}]$$

Schopnost materiálu vyrovnávat teplotní změny. Platí, že čím je hodnota **a** vyšší, tím se materiál rychleji vyrovná s teplotní změnou.

Tepelná jímavost (graf 8)

$$b = \sqrt{\lambda * \rho * c} [\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}]$$

Vlastnost charakterizující tepelný omak. Představuje množství tepla, které proteče při rozdílu teplot 1K jednotkou plochy za jednotku času v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu [45].

Plošný odpor vedení tepla (graf 9)

$$r = \frac{h}{\lambda} \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

Platí, že čím nižší je tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Hodnotu, kterou získáme z přístroje je nutno dělit 10^3 . Udává množství tepla, které textilie nepřijímá.

Tepelný tok (graf 10)

$$q = b * \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi * \tau}} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

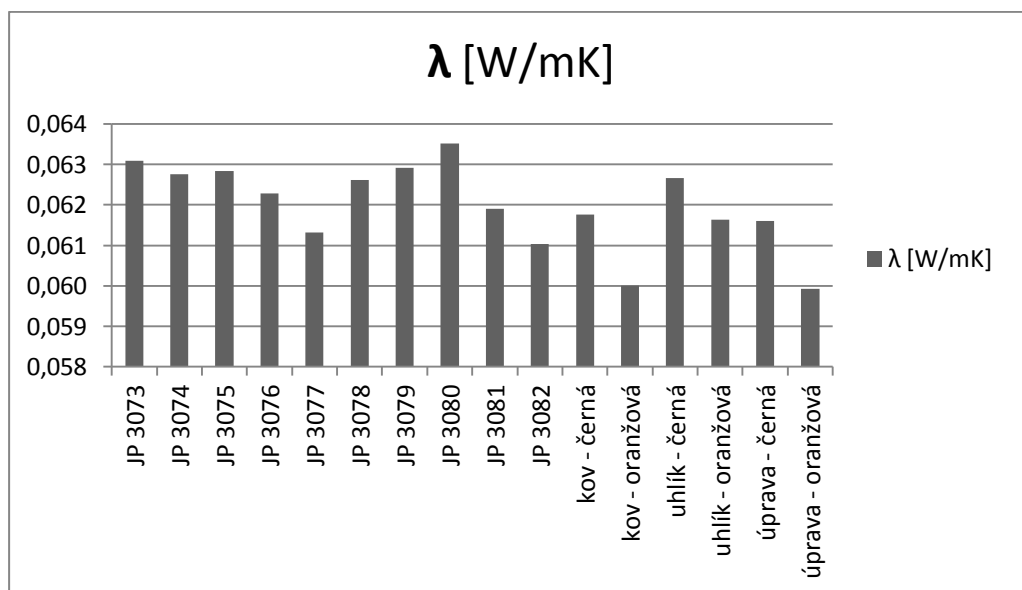
Množství tepla šířící se z měřicí hlavice o teplotě t_2 do textilie o počáteční teplotě t_1 za jednotku času.

V následující tabulce (Tab. 11) Tab. 11: Výsledné hodnoty jednotlivých veličin naměřených na přístroji Alambeta jsou uvedeny hodnoty výše uvedených veličin naměřených na jednotlivých textiliích.

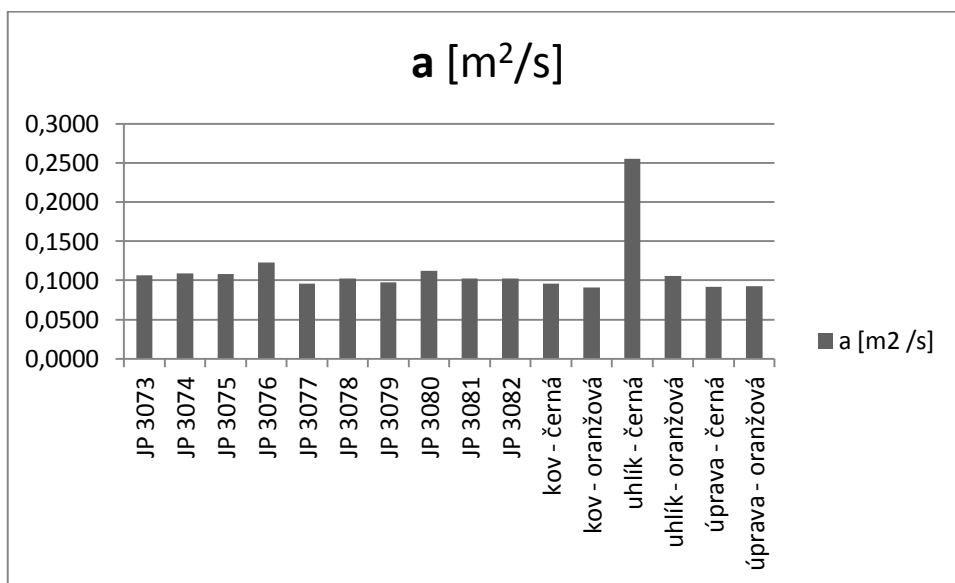
| materiál | λ [W/mK] | a [m ² /s] | b [Ws ^{1/2} /m ² K] | r [m ² K/W] | h [mm] | q [W/m ²] |
|-------------------|------------------|-------------------------|---|--------------------------|----------|-------------------------|
| JP 3073 | 0,063 | 0,1065 | 193,83 | 0,007 | 0,4583 | 0,5712 |
| JP 3074 | 0,063 | 0,1088 | 184,00 | 0,008 | 0,4660 | 0,5674 |
| JP 3075 | 0,063 | 0,1082 | 191,20 | 0,007 | 0,4640 | 0,5640 |
| JP 3076 | 0,062 | 0,1225 | 177,67 | 0,008 | 0,4767 | 0,5360 |
| JP 3077 | 0,061 | 0,0959 | 199,00 | 0,007 | 0,4514 | 0,5716 |
| JP 3078 | 0,063 | 0,1028 | 195,80 | 0,007 | 0,4680 | 0,5684 |
| JP 3079 | 0,063 | 0,0976 | 201,80 | 0,007 | 0,4520 | 0,5864 |
| JP 3080 | 0,064 | 0,1120 | 189,60 | 0,007 | 0,4540 | 0,5712 |
| JP 3081 | 0,062 | 0,1024 | 193,80 | 0,007 | 0,4580 | 0,5722 |
| JP 3082 | 0,061 | 0,1028 | 190,40 | 0,007 | 0,4440 | 0,5716 |
| kov - černá | 0,062 | 0,0959 | 200,14 | 0,010 | 0,6157 | 0,5486 |
| kov - oranžová | 0,060 | 0,0907 | 199,33 | 0,009 | 0,5500 | 0,5597 |
| uhlík - černá | 0,063 | 0,2552 | 195,17 | 0,009 | 0,5917 | 0,5488 |
| uhlík - oranžová | 0,062 | 0,1054 | 191,00 | 0,009 | 0,5500 | 0,5490 |
| úprava - černá | 0,062 | 0,0916 | 203,60 | 0,010 | 0,6000 | 0,5726 |
| úprava - oranžová | 0,060 | 0,0928 | 197,00 | 0,009 | 0,5520 | 0,5764 |

Tab. 11: Výsledné hodnoty jednotlivých veličin naměřených na přístroji Alambeta

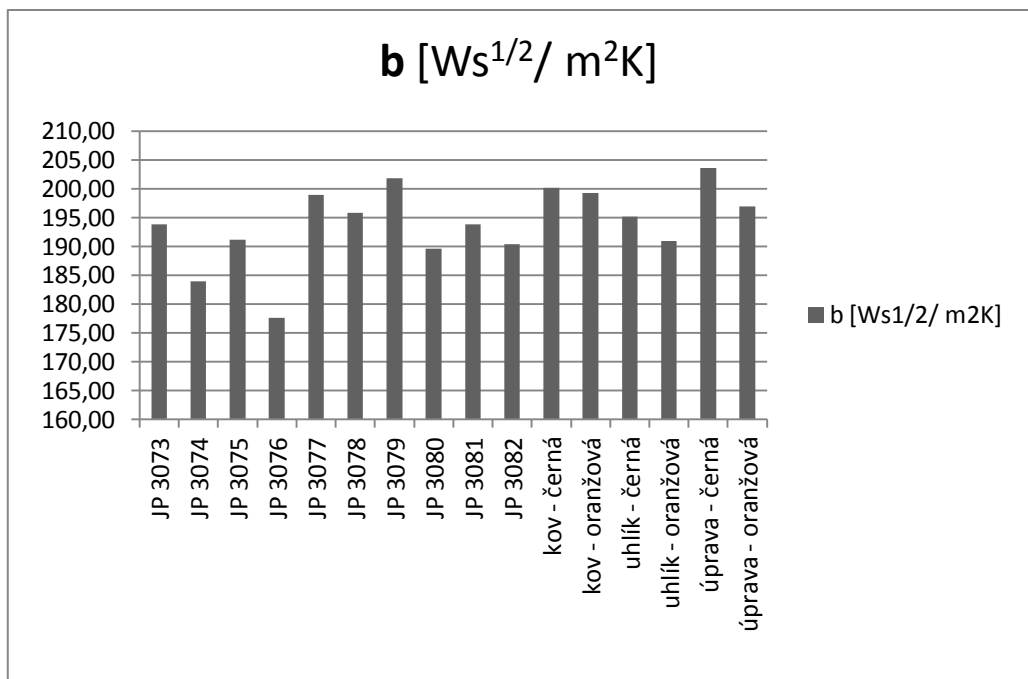
Na následujících grafech je možné pozorovat naměřené hodnoty jednotlivých textilií.



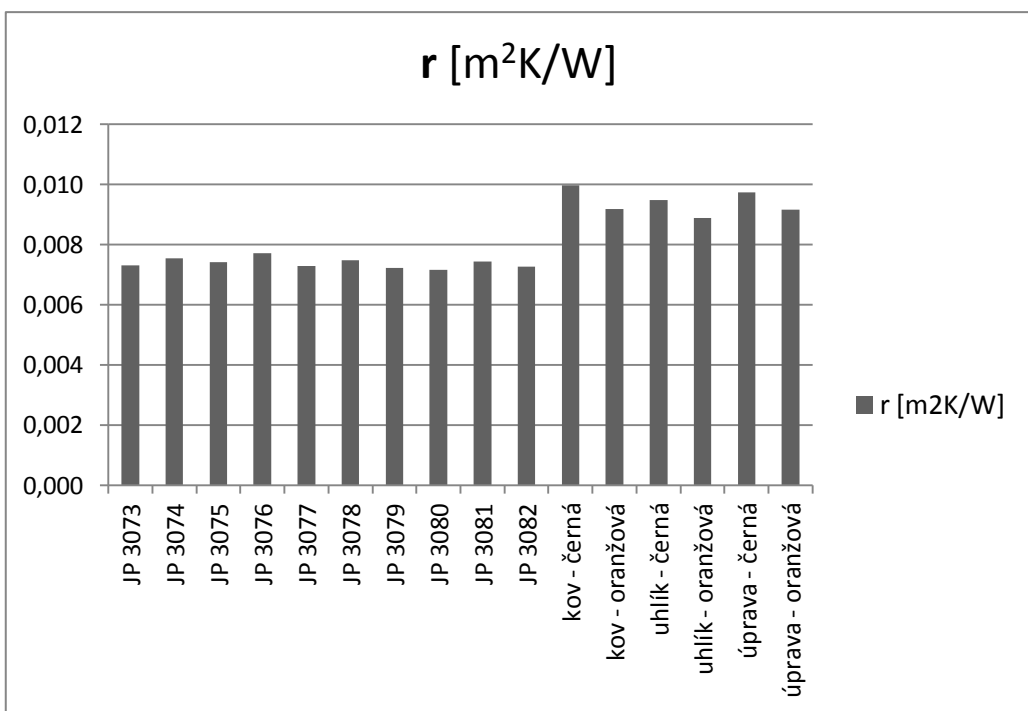
Graf 7: Měrná tepelná vodivost λ [W/mK]



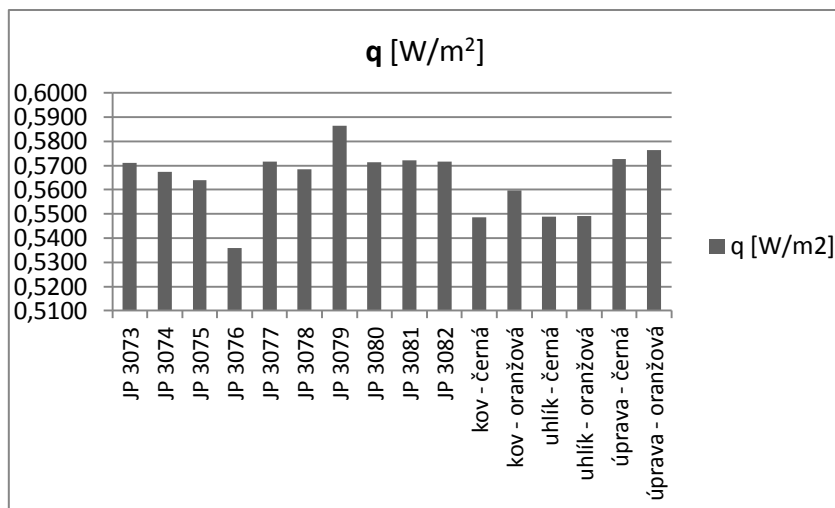
Graf 8: měrná teplotní vodivost a [m²/s]



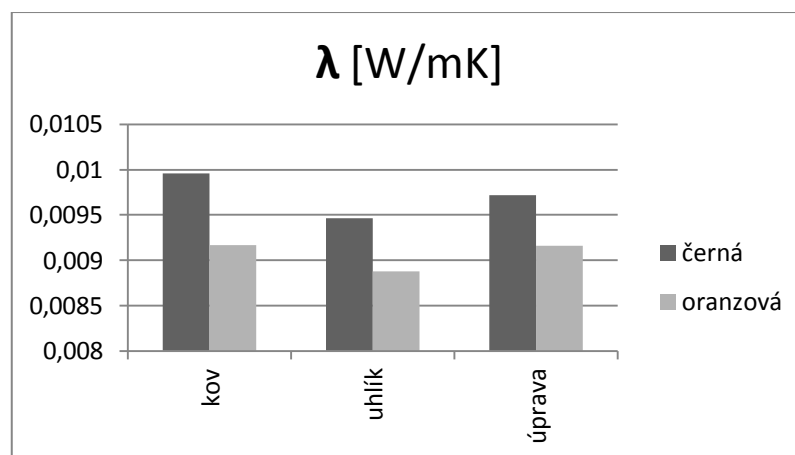
Graf 9: tepelná jímavost b [$W s^{1/2} / m^2 K$]



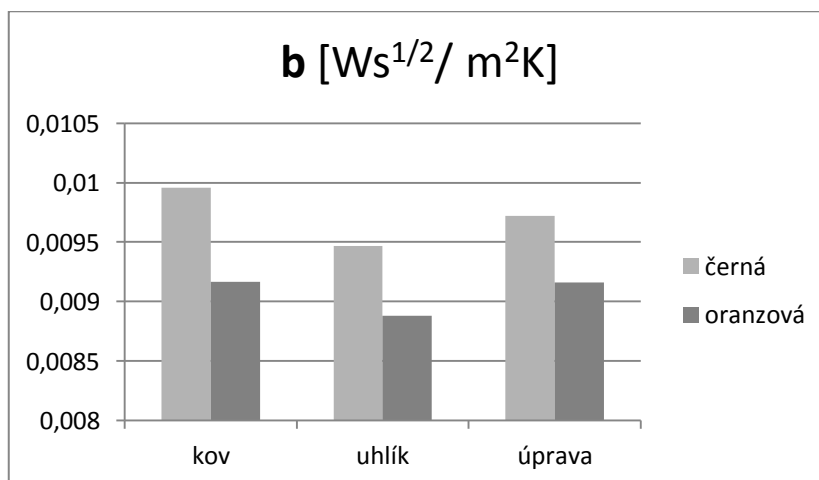
Graf 10: plošný odpor vedení tepla r [$m^2 K / W$]



Graf 11: tepelný tok q [W/m²]



Graf 12: Měrná tepelná vodivost λ [W/mK] u pletenin firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd



Graf 13: tepelná jímavost b [Ws¹/²/ m²K] u pletenin firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd

Při bližším zkoumání jednotlivých grafů však není viditelná žádná závislost měřených veličin na typu textilie.

Jediný graf, kde je možné pozorovat rozdíl naměřených hodnot mezi skupinou 1. a skupinou 2. je Graf 10. Zde je pozorovatelný rozdíl mezi pleteninami obsahující přízi Resistat a pleteninami dodanými firmou Zena HONGKONG Industrial Ltd.. Plošný odpor vedení tepla pletenin s přízí Resistat je nižší, což by mělo znamenat, že pletenina bude schopná lépe odvádět teplo, zatímco pleteniny dodané výrobcem z Číny budou schopny lépe udržet vyprodukované teplo u těla.

U pletenin firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd, je možné si u měrné tepelné vodivosti λ [W/mK] (Graf 12) všimnout, že u vzorků v černé barvě je tepelný tok vyšší, nežli u vzorků oranžových, podobný průběh grafu je možné pozorovat také u tepelné jímavosti b [Ws^{1/2}/ m²K]. Vzhledem k tomu, že ρS [Ω] a ρV [Ω .cm] byla u černých vzorků nižší než u oranžových, je možné z těchto výsledků usoudit, že použité černé barvivo má pozitivní vliv na vodivostní vlastnosti pleteniny.

5. Návrh konkrétního výrobku

V rámci vývoje firmy Adler Czech, a.s. byl pro podzimní kolekci 2012 jako jeden ze zadání připraven vývojový úkol návrhu trička s antistatickými vlastnostmi.

Mělo by se jednat o tričko vhodné do různých pracovních provozů, tedy pro pracovní textil. S ohledem na tuto skutečnost, stejně tak i na to, že firma se zabývá výrobou a prodejem reklamního textilu, byl požadavek na to, aby tričko bylo jednoduché, ale i tak trendové. Bohužel takovéto zadání neumožňuje větší kreativitu, proto byl připraven 1 typ trička ve 2 provedeních a to s krátkým a dlouhým rukávem. Aby tričko bylo pro zákazníka zajímavé, bude vyráběno v několika barevných variantách. Jelikož zadání se týkalo pouze 1 výrobku, pro tuto práci byly připraveny podklady pro výrobu celé série oděvů, které by se daly použít v budoucnu, pro rozšíření portfolia firmy v závislosti na prodejnosti a poptávce po tomto typu produktů.

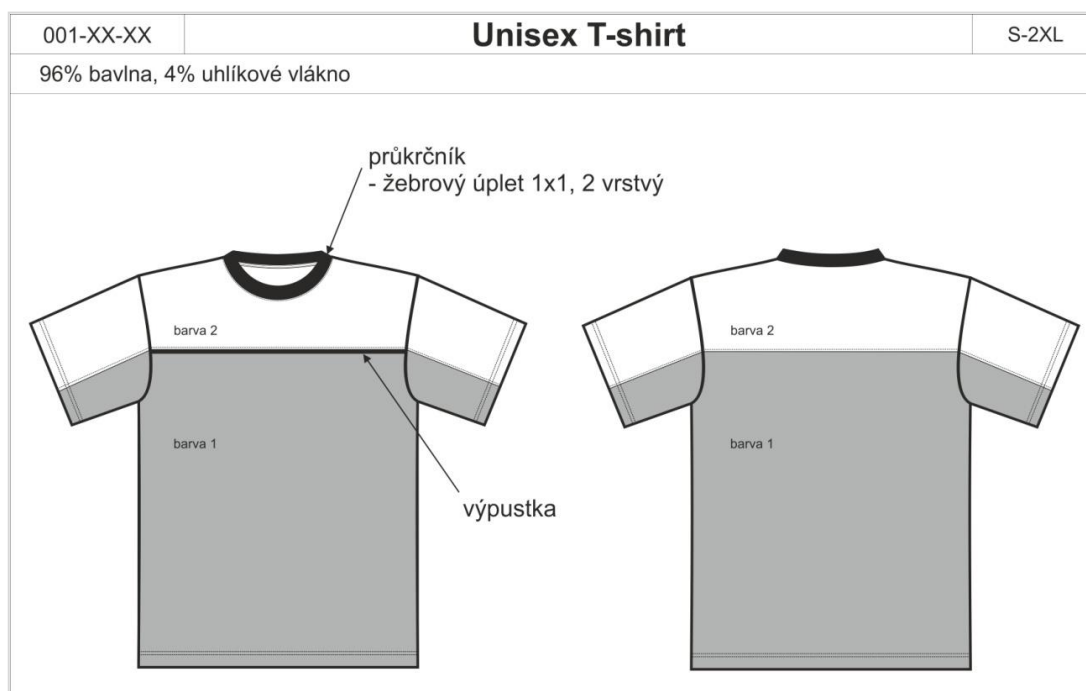
Pokud bychom se chtěli zaměřit i na jiný trh nežli jen na ten s pracovními oděvy, dalo by se v menších sériích vyrábět i zboží na zakázku. V tomto případě je umožněna i větší kreativita. Takové produkty by mohly být nabídnuty třeba společností prodávajícím elektroniku, jako jsou např. mobilní telefony, kdy při různých prezentačních akcích je potřeba zákazníka zaujmout a působit upraveně. Použití takových oděvů by pak zajišťovala ochranu zařízení během prezentace.

5.1. Technická dokumentace

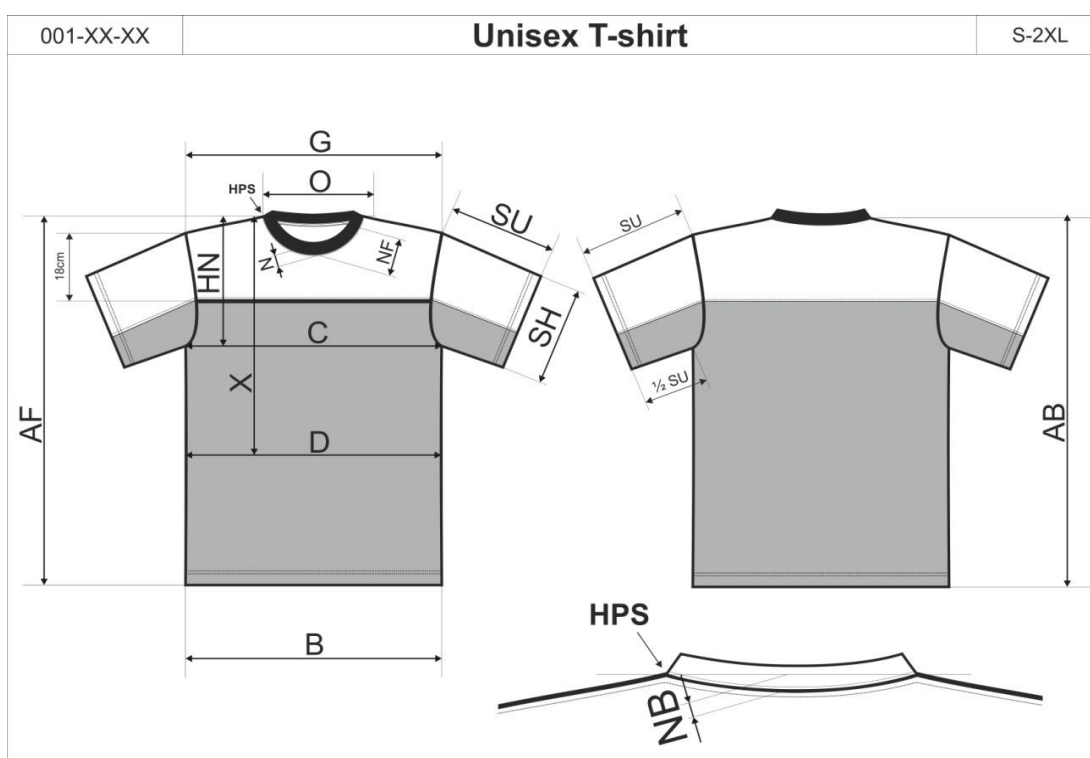
Technická dokumentace je nedílnou součástí produkce každého produktu. Mezi podklady, které se posílají výrobci, patří technický popis v českém (Tab. 13) a anglickém jazyce (Tab. 12), velikostní tabulka (Tab. 14) a technický náčrt (Obr. 41). Samozřejmě záleží na složitosti produktu. Někdy je třeba výrobci dodat detailnější náčrty, či přesný technologický postup výroby.

Následující náčrty a popisy jsou podklady nutné pro výrobu jednotlivých produktů. Tyto detaily jsou vytvářeny autorkou práce, avšak připravovány pro firmu Adler Czech, a.s., tudíž nedílnou součástí vlastnictví know-how firmy.

5.1.1. Tričko s krátkým rukávem



Obr. 41: Technický náčrt unisexového trička s krátkým rukávem



Obr. 42: Technický náčrt unisexového trička s kotovanými rozměry potřebnými pro výrobu

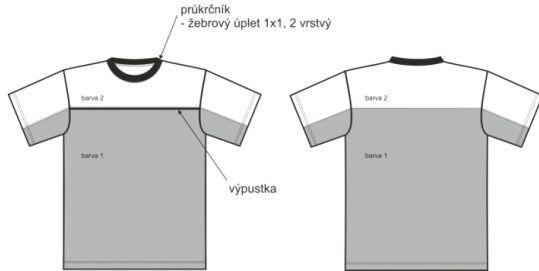
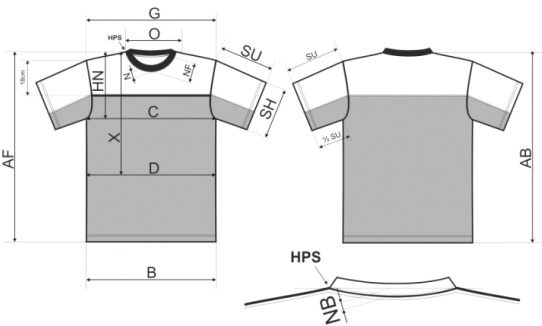

| | | | |
|---|---|---|-------|
| 001-XX-XX | Unisex T-shirt | | S-2XL |
|  |  |  | |
| 01 black 11 orange 00 white | 01 black 14 azure blue 01 black | 01 black 39 grass green 01 white | |
|  |  |  | |
| 01 black 00 white 00 black | 01 black 07 red 00 black | 36 steel gray 01 black 00 white | |

Obr. 43: Barevné varianty unisexového trička s krátkým rukávem

Technický popis

| GENERAL DESCRIPTION | | | |
|--|---|------------|--|
| | ADLER | Style name | T-shirt |
| Style code | 127 | Sex | unisex |
| Launch / Change | 09/2012 | Size | S - 2XL |
| MATERIALS | | | |
| Shell fabric | | | |
| Composition | 96% cotton, 4% carbon | | Weight/GSM 150 gsm |
| ACCESSORIES | | | |
| Type | Material | Pc | Placement |
| Main label | satin-printed | 1 | in the middle of the back neck opening |
| Care label | satin-printed | 1 | in the left side seam from the inside, with care symbols |
| | | | |
| PACKING | | | |
| 1 pc in PE bag, 100 pcs in paper carton | | | |
| CONSTRUCTION DETAILS AND CHANGES | | | |
| Design | use measurements chart for 001 Unisex T-shirt | | |
| | with front and back yoke, deviding on the sleeves and piping in contrast color on the fron part of the body | | |
| Shoulder tape | 0,8 cm wide from shell material with single lock stitching, follow s from one shoulder to the other | | |
| Neck | from rib fabric, round shape, double stitching | | |
| Bottom ending | 2 needle stitching at the height of 2 cm, at least 5 stitches per cm (simple stitching) | | |
| sleeve ending | 2 needle stitching at the height of 2 cm, at least 5 stitches per cm (decorative stitching) | | |
| COLOUR VARIANT OF THE STYLE | | | |
| body/shoulders/neck hem/piping: 01/11/00/00, 01/14/01/00, 01/39/00/00, 01/00/01/00, 01/07/01/00, 36/01/00/00 | | | |

Tab. 12: General description – tabulka obsahující podrobné informace o konstrukci produktu v anglickém jazyce

| POPIS PRODUKTU | | | |
|---|---|---|--|
| | ADLER | Název produktu | T- shirt |
| Číslo produktu | 001 | Pohlaví | unisex |
| Uvedení na trh | 09/2012 | Velikosti | S - 2XL |
| MATERIÁLY | | | |
| Složení | 96% cotton, 4% carbon | Plošná hmotnost | 150 gsm |
| ACCESSORIES | | | |
| Type | Material | Pc | Placement |
| Hlavní etiketa | saténová-tištěná | 1 | uprostřed průkrčníku, z vnitřní strany |
| Etiketa | saténová-tištěná | 1 | v levém bočním švu, z vnitřní strany, s údržbovými symboly |
| | | | |
| BALENÍ | | | |
| 1 ks v PE pytlíku, 100 ks v kartonu | | | |
| KONSTRUKČNÍ DETAILY | | | |
| Design | rozměry dle velikostní tabulky pro 001 Unisex T-shirt | | |
| | se sedlem na předním a zadním díle, dělení na rukávech a výpustkou v kontrastní barvě na předním díle | | |
| Ramenní páska | 0,8 cm široká, ze stejného materiálu jako tričko, všitý vazáním stehem, přes celá ramena | | |
| Lem průkrčníku | z žebrového úpletu, kulatý průkrčník, prošitý dvoujehlovým spodem krycím stehem | | |
| Dolní kraj | prošíť dvoujehlovým spodem krycím stehem ve výšce 2 cm, 5 stehů na cm | | |
| kraj rukávů | prošíť dvoujehlovým spodem krycím stehem ve výšce 2 cm, 5 stehů na cm | | |
| BAREVNÉ VARIANTY | | | |
| tělo/ramena/lem průkrčníku/výpustka: 01/11/00/00, 01/14/01/00, 01/39/00/00, 01/00/01/00, 01/07/01/00, 36/01/00/00 | | | |
| 001-XX-XX 96% bavlna, 4% uhlíkové vlákno | | Unisex T-shirt S-2XL | |
|  | |  | |
| 001-XX-XX Unisex T-shirt S-2XL | | | |
|  | | | |

Tab. 13: *General description* – tabulka obsahující podrobné informace o konstrukci produktu v českém jazyce

Velikostní tabulka

Nezbytnou součástí technické dokumentace je samozřejmě i rozměrová tabulka pro velikosti oděvu, které se budou vyrábět. Dle této tabulky je výrobce schopný vytvořit stříhové šablony.

| SIZE SPECIFICATION - FINISHED GARMENT (in cm) | | | | | | |
|---|---|-----|-----|------|------|------|
| Unisex T-shirt | | | | | | |
| style: 001 | | | | | | |
| size | | S | M | L | XL | XXL |
| AF | TOTAL FRONT BODY LENGTH (from HPS to FRONT BOTTOM HEM) | 68 | 72 | 76 | 78 | 80 |
| notice | | | | | | |
| AB | TOTAL BACK BODY LENGTH (from HPS to BACK BOTTOM HEM) | 68 | 72 | 76 | 78 | 80 |
| notice | | | | | | |
| C | 1/2 circumference CHEST - ARMHOLE DEPTH LINE | 47 | 51 | 55 | 59 | 63 |
| notice | | | | | | |
| X | HEIGHT of WAIST(from HPS to WAIST) | 44 | 46 | 49 | 51 | 52 |
| notice | | | | | | |
| D | 1/2 circumference WAIST | 47 | 51 | 54 | 57 | 60 |
| notice | | | | | | |
| B | 1/2 circumference BOTTOM HEM | 47 | 51 | 55 | 59 | 63 |
| notice | | | | | | |
| G | LENGTH from left SHOULDER POINT to right SHOULDER POINT | x | | | | |
| notice | | | | | | |
| SU | Upper SLEEVE LENGTH (only lenght of sleeve, not as a picture) | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| notice | | | | | | |
| O | WIDTH of BACK NECK OPENING (from left HPS to right HPS) | 17 | 18 | 18 | 19 | 19 |
| notice | | | | | | |
| NB | DEPTH from NECKLINE to the back line of NECK | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| notice | | | | | | |
| NF | DEPTH from NECKLINE to the front line of NECK | 8,5 | 9,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 |
| notice | | | | | | |
| SH | 1/2 circumference of SLEEVE HEM | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| notice | | | | | | |
| N | HEIGHT of NECK RIB | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| notice | | | | | | |
| HN | 1/2 circumference of ARMHOLE | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| notice | | | | | | |

| | | |
|-----------|----------------|-------|
| 001-XX-XX | Unisex T-shirt | S-2XL |
| | | |

Tab. 14: *Size table* – tabulka s rozměry jednotlivých velikostí v anglickém jazyce

5.2. Finální produkt



Obr. 44: Finální vzhled produktu

5.2.1. Tričko s dlouhým rukávem



Obr. 45: Technický náčrtes unisexového trička s dlouhým rukávem

| | | |
|--|-----------------------------------|-------|
| 006-XX-XX | Unisex T-shirt long sleeve | S-2XL |
| 96% bavlna, 4% uhlíkové vlákno | | |
|  | | |

Obr. 46: Barevné varianty unisexového trička s dlouhým rukávem

Technický popis velikostní tabulka se trička s dlouhým rukávem od toho s krátkým bude lišit pouze v délce rukávu. Ostatní specifikace zůstává stejná.

5.3. Kolekce

Následující nákresy a popisy jsou další možné varianty produktů k realizaci. První část je věnována oblečení jak pro každodenní nošení, tak i pro sport, či jako pracovní oděvy. U všech se dají nalézt náznaky módních detailů, avšak ty zde nejsou důležité. V druhé části je již na design kladen větší důraz. V této části jsou vyobrazeny dámské šaty jak pro denní nošení tak i šaty společenské, u kterých vhodnou volbou materiálu je možné dosáhnout zajímavých efektů pomocí pruhovaných či kostkovaných vzorů. Je možná nezvyklé používat antistatické materiály u těchto oděvů, ale nejedna žena se setkala se situací, kdy se jí šaty „lepily“ na tělo, zvláště u jemných syntetických materiálů, a vyvolávaly tak nežádoucí obepnutí. Proč tedy i u těchto oděvů nevyužít antistatických vlastností uhlíkových, či jiných vláken.

U většiny nákresů bylo využito trendových stylů a trendových barev pro jaro 2013. Jedná se o výrazné pastelové barvy (Obr. 50)[43]. Co se týká stylů, v popředí jsou především tzv. pouzdrové šaty, úzké sukně se zvýšeným pasem, či sukně

plisované. Dalším zajímavým trendem je tzv. *color blocking*. Tento anglický výraz vyjadřuje použití kontrastních barev v jakémsi geometrickém uspořádání (Obr. 46)[44].



Obr. 47: color report – trendové barvy Pantone [43]



Obr. 48: color blocking - Gucci, Preen [44]

Dámské tričko



Obr. 49: Dámské tričko s krátkým rukávem



Obr. 50: Dámské tričko s krátkým rukávem – barevné varianty I.



Obr. 51: Dámské tričko s dlouhým rukávem



Obr. 52: Dámské tričko s dlouhým rukávem – barevné varianty

Dámská bunda



Obr. 53: Dámské bunda – barevné varianty



Obr. 54: Dámské bunda – barevné varianty

Dámské sportovní kalhoty



Obr. 55: Dámské sportovní kalhoty a jejich barevné varianty

Dámské kalhoty



Obr. 56: Dámské kalhoty a jejich barevné varianty

Dámské šaty



Obr. 57: Dámské šaty



Obr. 58: Dámské šaty – barevné varianty

Dámské večerní šaty



Obr. 59: Dámské večerní šaty



Obr. 60: Dámské večerní šaty – barevné varianty

6. Závěr

V současné společnosti jsou komunikační technologie, interaktivní a přenosné přístroje největšími zdroji pro inovace a jsou předmětem rozsáhlého zájmu trhu. Integrace přenosné elektroniky s textiliemi se ukazuje jako nový přirozený a perspektivní zájem výroby.

V budoucnu bude elektronika v oděvech v různých podobách pravděpodobně i v oblečení pro běžné nošení.

Tento rozvoj je výsledkem aktivní spolupráce mezi různými obory a disciplínami jako jsou, inženýrské obory, přírodověda, konstrukce, výzkum a vývoj, obchod a marketing.

7. literatura:

1. **MILITKÝ, J.:** *Vlastnosti vláken – přednáška 6.: Elektrické vlastnosti*
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska6.pdf>
2. **MILITKÝ, J.:** *Vlastnosti vláken: Vláknotvorné polymery*
http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/4-vlastnosti_vlaken.pdf
3. **MARŠÁLKOVÁ, M.:** *Chemická vazba a elektrické vlastnosti textilií, 2001*
4. <http://en.wikipedia.org/>
5. **DRAŠAROVÁ, J.:** *Vysocefunkční textilie 5.*
http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/5_PT0.pdf
6. **DEMOULIN, B., HAMMI, T., NURMI, S.:** *Protection Against Electrostatic and Electromagnetic Phenomena,*
<http://www.scribd.com/doc/23535450/Multifunctional-Barriers-for-Flexible-Structure-Textile-Leather-and-Paper>
7. **ERDINGTON, D.B.:** *Antistatic Fabrics, 1958, US2845962*
<http://www.google.com/patents?id=8Y5ZAAAAEBAJ&printsec=abstract&zoom=4#v=onepage&q&f=false>
8. <http://www.skolatextilu.cz/vlakna/index.php?page=14>
9. **DRAŠAROVÁ, J.:** *Vysocefunkční textilie 3.*
http://www.ft.tul.cz/depart/kde/studium/predmetyPRILOHY/3_vlakna_modifikace.pdf
10. **OCHERETNA, L.:** *TZ1 07 – Ostatní chemická vlákna 2.*
http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=typy%20vl%C3%A1ken%20sheat%20core&source=web&cd=1&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.kht.tul.cz%2Fitems%2FTZ1%2FTZ1p%2FTZ1_07_Ostatni%2520chemicka%2520vlakna.pptx&ei=4j7dTo64BuSB4gTQkajfDQ&usg=AFQjCNFzKo9naP_zU2Q1fqh3iV9AXAB2Rg&cad=rja
11. **MILITKÝ, J., VANÍČEK, J.:** *Vlastnosti vláken – přednáška 14.*
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska14.pdf>
12. **MAEKAWA, M.:** *Cloth having antistatic properties, 1976, US3986530*
<http://www.google.com/patents/US3986530>
13. **TEI PIRAEUS:** *Electrically Conductive Spun Yarns*
http://centrum.tul.cz/centrum/itsapt/prezentace/wp2/Conductive_text_10.pdf

14. **KOŘÍNEK, Z.:** *Vlákna pro kompozity*
<http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
15. **GRÉGR, J.:** *Povrchové vlastnosti uhlíkových vláken*
http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/3Aplikace/3.1_zaverecne_zpravy/%5B3.1.09%5D.pdf
16. **HRAZDÍRA, M.:** *Materiály na bázi uhlíku a jejich využití*
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29700
17. **DRIML, J.:** *Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení*
http://ateam.zcu.cz/zkousky_mat.pdf
18. **SLOVANSKÉ GYMNÁZIUM OLOMOUC:** *Elektrický odpor*
http://fyzchem.sgo.cz/Pdf/Laboratorni_prace_fyzika_17.pdf
19. **HIRAI, M., HISAMOTO, I., ISHIKAWA, S.:** *Antistatic agent: Mixture of anionic surfactant and fluorine-containing nonionic surfactant, 1990, US4976741*
<http://www.docstoc.com/docs/41455938/Antistatic-Agent-Mixture-Of-Anionic-Surfactant-And-A-Fluorine-containing-Nonionic-Surfactant---Patent-4976741>
20. http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/carbon_fibreb_2.JPG
21. **ILEY R., RILEY H. L.:** *The deposition of carbon on vitreous silica, Jour. Chem. Soc. London II, 1948*
<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1948/jr/jr9480001362>
22. **SHINDO A.:** *Studies on graphite fibers, Japanese Gov't. Ind. Res. Inst., Osaka, Japan, Report no. 317, prosinec 1961.*
23. **MORGAN, P.:** *Carbon fibers and their composites. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, 2005. 1153 s. ISBN-10 0-8247-0983-9*
24. **OCHERETNA, L.:** *TZ1 07 – Ostatní chemická vlákna 3.*
http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=tz1_07_ostatni%20chemicka%20vlakna-2&source=web&cd=1&ved=0CCcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.kht.tul.cz%2Fitems%2FTZ1p%2FTZ1p%2FTZ1_07_Ostatni%2520chemicka%2520vlakna.pptx&ei=3k3iTskVHcntOamywNME&usg=AFQjCNFzKo9naP_zU2Q1fqh3iV9AXAB2Rg&cad=rja
25. http://www.btraindia.com/conductive_textile.asp
26. **ALIMOHAMMADI, F., PARVINZADEH, M., SHAMEI, A.:** *Carbon nanotube embedded textiles, 2011, US20110171413.*
<http://www.patentstorm.us/applications/20110171413/description.html>

27. <http://www.descoindustries.com/pdf/CostofESDDamage.pdf>
28. **DRÁPALA, J., KURSA M.:** *Elektrotechnické materiály*
<http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ETMAT/Elektrotechnicke%20materialy.pdf>
29. <http://www.kobakant.at/DIY/?p=2999>
30. <http://benfranklin.org/news/noble-fiber-technologies-x-static%C2%AE-helps-american-troops-stay-healthy-and-fresh>
31. <http://maxsharerbiz.en.made-in-china.com/product/docmMFeUIXkG/China-ESD-Cleanroom-Fabric-Polyester-Fabric-Cotton-Fabric-C01-F-.html>
32. <http://www.dorlastan.com/>
33. <http://www.seeitsafe.co.uk/>
34. <http://www.heathcoat.co.uk/>
35. <http://www.cleantex.cz/>
36. http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mateo.ntc.zcu.cz%2Fdoc%2FStav.doc&ei=P32IT42JDc6gOtyp1Z8D&usg=AFQjCNFyw5RYzzNk8OMMmKEcywQN17g_aw&sig2=atuOIJG55zBnGhnRtIBFqg
37. <http://www.technologyreview.com/computing/21689/>
38. <http://www.textronicsinc.com/>
39. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/2002809.stm>
40. http://findarticles.com/p/articles/mi_hb5987/is_2000_August/ai_n32008078/
41. <http://www.crunchwear.com/>
42. http://technet.idnes.cz/v-plzni-vyrabeji-chytre-obleceni-umi-volat-i-nabijet-fy9-/tec_technika.aspx?c=A080617_144151_tec_technika_vse
43. http://www.pantone.com/downloads/support/FCR/PANTONE_FCR_Spring2012.pdf
44. www.vogue.it
45. **HES, L., SLUKA, P.:** *Úvod do komfortu textilií, skripta TU Liberec, 2005, ISBN 80-7083-926-0.*
46. **INTERNÍ NORMA Č. 23-304-02/01:** *Měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta, 2004*
http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2023-304-02_01.pdf
47. http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/zkouseni_textilii/ulohy/zakladni_parametry/pristroje5.htm
48. **MARŠÁLKOVÁ, M., LEDROVÁ, Z.:** *Textilie pro speciální aplikace – závěrečná zpráva*

- http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/3Aplikace/3.1_zaverecne_zpravy/%5B3.1.01%5D.pdf
49. http://www.testequipmentconnection.com/specs/Agilent_4339B.PDF
50. <http://www.antistatika.cz/>
51. <http://www.klopman.com/asp/fabSelector.asp?fss=4&cc=1§ionID=3&subSectionID=3&urhd=4169&urh=Anti-static>
52. <http://crave.cnet.co.uk/mobiles/echo-touch-conductive-gloves-let-you-use-touchscreen-phones-50000715/>
53. <http://mcleodresidence.myshopify.com/products/petal-pusher>
54. http://web.telecom.cz/tyrbach/Odpor_a_vodivost.pdf
55. <http://szveny.cn/110315/110056/uploadfiles/upLoadFile/2009100623333798.pdf>
56. http://www.maelabs.ucsd.edu/mae_es/partsnlinks/PopDataShts/ESD/ESDfund.pdf
57. <http://cs.wikipedia.org>
58. http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29700
59. http://www.ft.tul.cz/bulletin/statni_doktorske_zkousky_a_obhajoby/teze-Marsalkova.pdf
60. M. Maršálová: Interní norma č. 26-401-01/01: Anizotropie rezistivity textilií (TUL 2004)
61. **ČSN EN ISO 6330.** Textilie – Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií. 2001.

Seznam tabulek:

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Měrný elektrický odpor $\rho[\Omega.m]$ různých materiálů [2]..... | 11 |
| Tab. 2: Měrný elektrický odpor $\rho[\Omega.m]$ textilních materiálů [2]..... | 11 |
| Tab. 3: Měrný elektrický odpor $\rho[\Omega.m]$ textilních materiálů při 65 [%] relativní vlhkosti a [20°C] [2]..... | 11 |
| Tab. 4: Seznam testovaných materiálů dodaných firmou Sintex | 48 |
| Tab. 5: Seznam testovaných materiálů dodaných firmou..... | 51 |
| Tab. 6: Hodnocení antistatických vlastností [59]. | 55 |
| Tab. 7: Naměřené hodnoty tloušťky pletenin firmy Zena Hongkong Industrial Ltd. | 58 |
| Tab. 8: Naměřené hodnoty tloušťky pleteniny s obsahem příze Resistat | 58 |
| Tab. 9: Výsledné hodnoty povrchové rezistivity $\rho_S [\Omega]$ a objemové rezistivity $\rho_V [\Omega.cm]$ | 59 |
| Tab. 10: Porovnání hodnot povrchové rezistivity $\rho_S [\Omega]$ a povrchové rezistivity $\rho_V [\Omega.cm]$ před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou..... | 63 |
| Tab. 11: Výsledné hodnoty jednotlivých veličin naměřených na přístroji Alambeta | 66 |
| Tab. 12: General description – tabulka obsahující podrobné informace o konstrukci produktu v anglickém jazyce | 73 |
| Tab. 13: General description – tabulka obsahující podrobné informace o konstrukci produktu v českém jazyce | 74 |
| Tab. 14: Size table – tabulka s rozměry jednotlivých velikostí v anglickém jazyce..... | 75 |

Seznam obrázků:

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Příklady vodivých přízí..... | 17 |
| Obr. 2: a) mikroskopický pohled na kovem povrstvená akrylová vlákna | 18 |
| Obr. 3: a) kovové vlákno, b) PES multifil, s aditivem | 18 |
| Obr. 4: a,b - způsoby výroby kovových vláken [9] | 19 |
| Obr. 5: Pokovené vlákno [10]..... | 20 |
| Obr. 6: průřezy různých typů bikomponentních vodivých vláken [6] | 21 |
| Obr. 7: Jedna z komponent (jádro-core) je zcela obklopena druhou komponentou (plášť-shealt) [10]..... | 22 |
| Obr. 8: Děrová a elektronová vodivost [2]..... | 24 |
| Obr. 9: Pásový energetický model: porovnání různých látek z hlediska obsazení elektronů v jednotlivých hladinách z hlediska modelu páسů přípustných energií; na obrázku jsou zobrazeny jednotlivé pásy 1- pás vodivostní, 2- pás valenční, 3- pás zakázaný [28] | 24 |
| Obr. 10: směsová příze z galvanizované oceli a vlny [29]..... | 25 |
| Obr. 11: Pletenina obsahující přízi s vodivým vláknem X-static, které je vyrobeno z nerezové oceli [30].. | 26 |
| Obr. 12: tkanina v plátňové vazbě s útkovými přízemi z vodivých vláken v poměru 1:1 a 2:1 | 27 |
| Obr. 13: tkaniny s vodivými vlákny v různých vazbách [31]..... | 27 |
| Obr. 14: zátažná jedolící pletenina s přízemi z vodivých vláken [12]..... | 27 |
| Obr. 15: a) Pružná pletenina - 92% Nylon, 8% Dorlastan® s resistencí menší než 1 Ohm/m ² v klidu, vodivost při napnutí roste; b) oboulící vodivá textilie s nevodivým polyesterem na jedné straně a vodičovou nerezovou ocelí na druhé straně [31]..... | 28 |
| Obr. 16: a) Měkká vodivá pletenina zhotovená z polyesteru a drátku (80 mikronů) z nerezové oceli [38]; b) pletenina obsahující vodivou přízi Heatcoat [34] | 28 |
| Obr. 17: Zemní kabík a Antistatický náramek [35]..... | 30 |
| Obr. 18: Ukázka několika typů kapacitních a ohebných textilních klávesnic [36] | 32 |
| Obr. 19: Výrobky firmy Textronics [38]..... | 33 |
| Obr. 20: Elektronická podprsenka [39]..... | 33 |
| Obr. 21: Bunda O'Neill Comm.Ent Jacket [41] | 34 |
| Obr. 22: Bunda KENPO a BURTON | 35 |
| Obr. 23: Nositelná elektronika firmy Applycon [42] | 35 |
| Obr. 24: Petal pusher [53]..... | 36 |
| Obr. 25: Rukavice s obsahem vodivých vláken [52]..... | 36 |
| Obr. 26: a) Grafenová mřížka ve tvaru plástve tvořená atomy uhlíku [4]; b) Hybridizace sp ² - vazebný úhel je 120° [57] | 37 |
| Obr. 27: mikroskopický pohled na uhlíkové vlákno [20] | 39 |
| Obr. 28: Schéma výroby uhlíkových vláken [24]..... | 42 |
| Obr. 29: označení pro ESD produkty[50]..... | 45 |
| Obr. 30: oděvy pro manažery s příměsí vodivých vláken [50] | 45 |
| Obr. 31: ESD produkty [50] | 46 |
| Obr. 32: Mikroskopické snímky příze Resistat: a), b) podélný pohled; c), d) příčný řez. | 48 |
| Obr. 33: 1 – 10: pleteniny obsahující přízi Resistat..... | 50 |
| Obr. 34: pleteniny dodané firmou ZENA HONGKONG Industrial Ltd | 52 |
| Obr. 35: Mikroskopické snímky příčných řezů přízí dodanými firmou ZENA HONGKONG Industrial Ltd – vlákna s příměsí kovu | 53 |
| Obr. 36: Mikroskopické snímky příčných řezů přízí dodanými firmou ZENA HONGKONG Industrial Ltd – vlákna s příměsí uhlíku | 53 |
| Obr. 37: Agilent (Hewlett-Packard) 4339B High Resistance Meter [49]..... | 54 |
| Obr. 38: Zařízení pro měření povrchového a vnitřního odporu textilií [48]..... | 56 |

| | |
|---|----|
| <i>Obr. 39: Přístroj Uni Thickness Meter pro měření tloušťky textilií [47]</i> | 58 |
| <i>Obr. 40: Schéma a popis měřicího přístroje Alambeta [46]</i> | 65 |
| <i>Obr. 41: Technický náčrt unisexového trička s krátkým rukávem</i> | 72 |
| <i>Obr. 42: Technický náčrt unisexového trička s kotovanými rozměry potřebnými pro výrobu</i> | 72 |
| <i>Obr. 43: Barevné varianty unisexového trička s krátkým rukávem</i> | 73 |
| <i>Obr. 44: Finální vzhled produktu</i> | 76 |
| <i>Obr. 45: Technický náčrt unisexového trička s dlouhým rukávem</i> | 76 |
| <i>Obr. 46: Barevné varianty unisexového trička s dlouhým rukávem</i> | 77 |
| <i>Obr. 47: color report – trendové barvy Pantone [43]</i> | 78 |
| <i>Obr. 48: color blocking - Gucci, Preen [44]</i> | 78 |
| <i>Obr. 49: Dámské tričko s krátkým rukávem</i> | 79 |
| <i>Obr. 50: Dámské tričko s krátkým rukávem – barevné varianty I.</i> | 79 |
| <i>Obr. 51: Dámské tričko s dlouhým rukávem</i> | 80 |
| <i>Obr. 52: Dámské tričko s dlouhým rukávem – barevné varianty</i> | 80 |
| <i>Obr. 53: Dámské bunda – barevné varianty</i> | 81 |
| <i>Obr. 54: Dámské bunda – barevné varianty</i> | 81 |
| <i>Obr. 55: Dámské sportovní kalhoty a jejich barevné varianty</i> | 82 |
| <i>Obr. 56: Dámské kalhoty a jejich barevné varianty</i> | 82 |
| <i>Obr. 57: Dámské šaty</i> | 83 |
| <i>Obr. 58: Dámské šaty – barevné varianty</i> | 83 |
| <i>Obr. 59: Dámské večerní šaty</i> | 84 |
| <i>Obr. 60: Dámské večerní šaty – barevné varianty</i> | 84 |

Seznam grafů:

| | |
|--|----|
| Graf 1: Výsledné hodnoty povrchové rezistivity ρ_S [Ω] | 60 |
| Graf 2: Výsledné hodnoty objemové rezistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$]..... | 60 |
| Graf 3: Výsledné hodnoty povrchové rezistivity ρ_S [Ω] pletenin s obsahem příze Resistat..... | 61 |
| Graf 4: Výsledné hodnoty objemové rezistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] pletenin s obsahem příze Resistat..... | 61 |
| Graf 5: Porovnání hodnot povrchové rezistivity ρ_S [Ω] před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou | 63 |
| Graf 6: Porovnání hodnot objemové rezistivity ρ_V [$\Omega \cdot \text{cm}$] před a po vyprání vzorku s antistatickou úpravou | 64 |
| Graf 7: Měrná tepelná vodivost λ [W/mK] | 67 |
| Graf 8: měrná teplotní vodivost α [m^2/s]..... | 67 |
| Graf 9: tepelná jímavost b [$\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$]..... | 68 |
| Graf 10: plošný odpor vedení tepla r [$\text{m}^2\text{K/W}$]..... | 68 |
| Graf 11: tepelný tok q [W/m^2] | 69 |
| Graf 12: Měrná tepelná vodivost λ [W/mK] u pletenin firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd | 69 |
| Graf 13: tepelná jímavost b [$\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$] u pletenin firmy Zena HONGKONG Industrial Ltd | 69 |